



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB FACULDADE DE
TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

ANNA CAROLINA MONTENEGRO NUNES SALES

**METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE PROJETO PARA UM SISTEMA DE
DRENAGEM PLUVIAL URBANA SUSTENTÁVEL COM ESTUDO DE CASO**

**Brasília - DF
2018**

ANNA CAROLINA MONTENEGRO NUNES SALES

**METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE PROJETO PARA UM SISTEMA DE
DRENAGEM PLUVIAL URBANA SUSTENTÁVEL COM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como um dos requisitos para a
conclusão do curso de Engenharia Civil do
UniCEUB - Centro Universitário de Brasília

Orientador: Eng.º Msc. Júlio César Sebastiani
Kunzler

Brasília - DF
2018

METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE PROJETO PARA UM SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA SUSTENTÁVEL COM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como um dos requisitos para a
conclusão do curso de Engenharia Civil do
UniCEUB - Centro Universitário de Brasília

Orientador: Eng.º Msc. Júlio César Sebastiani
Kunzler

Brasília, 07 de dezembro de 2018.

Banca Examinadora

Eng. Civil: Júlio César Sebastiani Kunzler
Orientador

Eng. Civil: Flávio de Queiroz Costa
Examinador Interno

Eng. Civil: Maria José de Souza Serafím
Examinadora Externa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo.

Aos meus pais, Horácio e Cinthia, que nunca medem esforços para que eu possa realizar meus sonhos e alcançar meus objetivos.

Aos meus amados irmãos, que são minha felicidade na sua forma mais pura.

À minha família, em especial aos meus queridos tios Neudima, Márcio e Cinthia, que me auxiliaram de diversas formas e imensamente durante minha caminhada acadêmica e profissional.

Aos meus amigos, por fazerem a minha vida ser mais leve.

Aos meus colegas de trabalho, que foram fundamentais para que eu concluísse este trabalho, sempre me ouvindo e incentivando.

A todos os meus professores, em especial à professora Maruska, que foi meu primeiro contato com sustentabilidade na engenharia e é um grande exemplo de mulher e profissional.

Por fim, ao meu orientador, professor Júlio, por me apoiar e auxiliar nesse projeto, com certeza, eu não teria conseguido sem ele.

.

RESUMO

A crescente busca por intervenções sustentáveis que minimizem os problemas ocasionados pela impermeabilização do solo, como enchentes e alagamentos nas cidades, tornou-se um assunto cada vez mais relevante, à medida que a cidade se desenvolve. Brasília é uma cidade que, apesar de apresentar grandes áreas verdes, mostra pontos aglomeração de águas pluviais que são insustentáveis para o funcionamento da rede de drenagem convencional. Dessa forma, a elaboração de soluções que colaborem com o desenvolvimento urbano se mostra necessária e apresenta bons resultados quando aplicadas em áreas impermeabilizadas. Ao serem executadas metodologias para elaboração de um projeto sustentável de drenagem de águas pluviais urbanas, o estudo de medidas de controle na fonte em uma área de estacionamento e instauração de trincheiras de infiltração, mostrou que este tipo de dispositivo foi capaz de reduzir em aproximadamente 61% o volume de escoamento gerado por uma área de 0,0635 km².

Palavras-chave: drenagem urbana sustentável, águas pluviais, controle de enchentes.

ABSTRACT

The growing search for sustainable interventions that minimize the problems caused by land sealing, such as floods in cities, is a subject that becomes increasingly relevant as the city develops. Brasília is a city that despite presenting large green areas, shows agglomeration points of rainwater that are unsustainable for the operation of the conventional drainage network. In this way, the development of solutions that collaborate with urban development is necessary and presents good results when applied in waterproof areas. In taking forward methodologies for the elaboration of a sustainable urban storm drainage project, the study of control measures at the source in a parking area and the establishment of infiltration trenches showed that this type of device was able to reduce by approximately 61% the volume of flow generated by an area of 0.0635 km².

Keywords: sustainable drainage, rain water, stormwater management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 Manejo de águas pluviais no Brasil.....	16
3.2 Influência da urbanização no ciclo hidrológico	17
3.3 Sistemas de drenagem urbana e medidas de controle	18
3.4 Elementos hidrológicos para projetos de drenagem urbana	20
3.4.1 Precipitação.....	20
3.4.2 Escoamento superficial.....	21
3.4.3 Bacia de drenagem.....	24
3.4.4 Método de cálculo para vazão de projeto	25
3.4.5 Definição de tempo de concentração.....	26
3.5 Elementos hidráulicos	28
3.5.1 Dispositivos de transposição urbana	28
3.5.2 Dispositivos e técnicas para controle na fonte	29
4. METODOLOGIA	45
4.1 Descrição da área de estudo de caso	46
4.2 Análise e verificação dos alagamentos	48
4.3 Critérios de avaliação do projeto	50
4.4 Método de dimensionamento hidrológico.....	52
4.5 Dispositivos de controle e método de dimensionamento hidráulico	53
4.5.1 Pré-dimensionamento dos pavimentos permeáveis.....	55
4.5.2 Pré-dimensionamento das trincheiras de infiltração.....	57
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	58
5.1 Vazão de projeto	58
5.2 Pré-dimensionamento dos pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.....	59

5.3 Resultado final	61
6. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS.....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício Bosco Vericale	12
Figura 2 - Alagamento na altura da Quadra 401 Norte em Brasília.....	13
Figura 3 - Alagamento em via do Plano Piloto	14
Figura 4 - Ciclo hidrológico na natureza e em área urbanizada	17
Figura 5 - Representação dos hidrogramas de pré e pós-urbanização.....	18
Figura 6 - Seção transversal de um curso d'água	22
Figura 7- Delimitação de bacia hidrográfica	24
Figura 8 - Dispositivos de drenagem pluvial.....	29
Figura 9 - Ilustração de um canteiro pluvial.....	31
Figura 10 - Telhado verde em Berlim	32
Figura 11 - Camadas de pavimentação dos telhados verdes	33
Figura 12 - Elementos de uma trincheira de infiltração	33
Figura 13 - Trincheira de infiltração.....	34
Figura 14 - Valas de infiltração.....	35
Figura 15 - Estrutura de uma vala de infiltração.....	35
Figura 16 - Pavimento permeável	36
Figura 17 - Pavimento permeável com e sem tubo de dreno	37
Figura 18 - Pavimento permeável de blocos de concreto vazados com grama	37
Figura 19 - Pavimento de concreto permeável.....	38
Figura 20 - Escoamento superficial em diferentes superfícies	38
Figura 21 - Jardins de chuva.....	40
Figura 22 - Jardim de chuva.....	40
Figura 23 - Representação das camadas de um jardim de chuva	41
Figura 24 - Canteiros pluviais.....	42
Figura 25 - Camadas de um canteiro pluvial.....	42
Figura 26 - Sistema de biovaleta.....	43
Figura 27 - Sistema de biovaleta.....	44
Figura 28 - Geoportal (SEGETH)	45
Figura 29 - Planta da área total analisada.....	47
Figura 30 - Mapa de situação geral.....	47
Figura 31 - Ilustração dos pontos de alagamento	48

Figura 32 - Escoamento superficial no estacionamento AutoPark	48
Figura 33 - Escoamento superficial no estacionamento AutoPark	49
Figura 34 - Escoamento superficial nas vias próximas ao UniCEUB	49
Figura 35 - Escoamento superficial nas vias próximas ao UniCEUB	50
Figura 36 - Fluxograma para projetos de baixa complexidade	52
Figura 37 - Área de drenagem e perfil de elevação	53
Figura 38 - Ilustração de projeto na planta	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de Retorno.....	21
Tabela 2 - Coeficiente de escoamento superficial segundo descrição de áreas ...	23
Tabela 3 - Coeficiente de escoamento superficial segundo tipo de superfície	23
Tabela 4 - Dispositivos para controle de escoamento na fonte	30
Tabela 5 – Comparação entre telhado verde e telhado convencional.....	32
Tabela 6 - Considerações sobre o uso de jardins de chuva.....	41
Tabela 7 - Considerações sobre o uso de biovaletas.....	44
Tabela 8 - Ocupação total da área	46
Tabela 9 - Nível de complexidade de projeto	51
Tabela 10 - Medidas para redução de deflúvio superficial direto urbano	54
Tabela 11 - Coeficiente de infiltração do Complexo Ayrton Senna	56
Tabela 12 - Fator de segurança para coeficiente de infiltração.....	56
Tabela 13 - Porosidade efetiva dos materiais	56
Tabela 14 - Tabela resumo para resultados hidrológicos de projeto	58
Tabela 15 - Dimensões dos dispositivos	59
Tabela 16 - Resultados hidráulicos de projeto dos pavimentos permeáveis	60
Tabela 17 - Resultados hidráulicos de projeto das trincheiras de infiltração	61
Tabela 18 - Dimensões totais dos dispositivos.....	61
Tabela 19 - Redução de escoamento superficial	62

LISTA DE ABREVIATURAS

ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
SEGETH	Secretaria de Estado de Gestão de Territórios e Habitações
IDF	Intensidade, duração e frequência (Curva)

1. INTRODUÇÃO

Segundo Matos (2003), até à Idade Moderna, as obras de drenagem não eram consideradas como infraestruturas necessárias e condicionantes ao desenvolvimento e ordenamento urbano, porém, ainda sim, há registros encontrados de algumas intervenções utilizadas por antigas civilizações.

Com o passar dos anos é possível observar o desenvolvimento de diversas metodologias de projetos para sistemas de drenagem pluvial, e que atualmente, dividem-se entre os países que utilizam sistemas tradicionais de coleta, a partir de infraestruturas lineares e com dispositivos que transportam as águas pluviais para jusante, o que, com a expansão urbana, apenas leva o problema para outro lugar.

E dividem-se também entre os que procuram soluções sustentáveis que venham a mitigar os problemas de enchentes a partir de novos conceitos, como por exemplo, a ideia de cidades-esponjas, que segundo Zevenbergen, Fu e Pathirana (2018), são cidades que possuem a capacidade de integrar a drenagem urbana a administração e design urbano, que vem sendo disseminada na China e também em outros países, como em demonstrado na Figura 1, que apresenta o Edifício Bosco Verticale em Milão na Itália, para controle de temperatura e enchentes, procurando replicar no ambiente urbano as condições encontradas na natureza.

Figura 1 - Edifício Bosco Verticale



Fonte: <http://www.condominiosverdes.com.br/conheca-o-edificio-bosco-verticale-em-milao/>.

Acesso em 15/09/2018.

Dessa forma, este trabalho visa desenvolver o estudo de soluções para os desafios de geração de escoamento superficial, pois são medidas que se tornam cada vez mais importantes e necessárias na sociedade como um todo, pois os problemas decorrentes da má gestão e manejo de águas pluviais nos meios urbanos são progressivos e apresentam uma frequência e quantidade que muitas vezes não conseguem ser contidas apenas pelos dispositivos de microdrenagem.

Algumas das principais causas dos desastres naturais que acontecem no Brasil são relacionadas diretamente a precipitações intensas e chuvas prolongadas, que geram alagamentos, enxurradas e inundações. O percentual de municípios afetados por esses eventos, de acordo com o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais de 2013, soma 19,41%, e mais de quatro milhões de pessoas foram afetadas por esses eventos.

De acordo com Lopes (2011), Brasília foi planejada para uma população de 500.000 habitantes para o final do século XX, porém, antes da sua data de inauguração já possuía aproximadamente 140.000 habitantes.

Ao longo das décadas, o crescimento populacional ultrapassou o planejado e acompanhando a necessidade de moradia da população, houve um processo de ocupação sem a infraestrutura adequada, desordenado e executado sem ponderar as características naturais do meio.

Figura 2 - Alagamento na altura da Quadra 401 Norte em Brasília



Fonte: G1 DF (2018)

Assim, a ocorrência de alagamentos e inundações se tornam mais frequentes a medida que as ruas, calçadas e edifícios ocupam o lugar da vegetação e modificam o solo, que perde sua capacidade de infiltração e consequentemente contribui para sua impermeabilização, como mostra a Figura 2.

Durante o período de chuvas, a cidade, que apresenta eventos hidrológicos extremos em determinada situação sazonal, exhibe vários pontos em que a composição de rede de drenagem se mostra ineficiente para a demanda que recebe, causando frequentemente incômodos e prejuízos aos transeuntes e motoristas.

Figura 3 - Alagamento em via do Plano Piloto



Fonte: Correio Braziliense (2018)

Na Figura 3 é possível verificar como os veículos que circulam pelas vias das áreas urbanas ficam sujeitos a situações de risco e acidentes, e assim, verifica-se ser imprescindível a atenção quanto a um planejamento adequado de novas ações e apuração de técnicas compensatórias que previnam de forma sustentável e, em longo prazo, os problemas de drenagem pluvial.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho visa o estudo e aplicação de metodologias para definição de medidas de controle na fonte para um projeto de sistema de drenagem urbana sustentável, utilizando como local de estudo a área que integra o campus da Asa Norte do UniCEUB na 707/907 Norte e a área da 708/908 Norte.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Apresentar metodologias de dimensionamento hidrológico de drenagem pluvial urbana em Brasília;
- b) Escolher diferentes tipologias para redução de escoamento superficial de forma sustentável nas vias entre o campus da Asa Norte e estacionamento AutoPark do UniCEUB na 908 Norte;
- c) Elaborar e desenvolver dimensionamento hidráulico de projeto das tipologias sustentáveis.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Manejo de águas pluviais no Brasil

O Brasil apresenta atualmente diversas falhas no seu sistema de saneamento básico, causados muitas vezes pela falta de investimento do governo e órgãos públicos para o desenvolvimento de medidas e ações que mitiguem os problemas neste setor.

A carência na gestão e manejo das águas pluviais acaba estabelecendo a desvalorização dos recursos hídricos no país, o que gera cada vez mais um ambiente de incertezas e riscos, principalmente nos grandes centros urbanos. De acordo com Tucci (2008), até o século XX, as cidades dos países mais desenvolvidos eram mais preocupadas em evitar a proliferação de doenças – fase higienista, e assim, a partir do despejo sem tratamento à jusante e do posterior crescimento populacional, gerando um colapso do ambiente urbano.

Já no início da década de 70, com a criação de legislações que tratassem dos efluentes, concluiu-se que a construção de obras de drenagem que aumentassem o escoamento em razão da urbanização não seria mais adequada e começou assim, a fase corretiva das águas urbanas. Ainda segundo Tucci, o Brasil encontra-se em uma fase precária e pouco evolutiva quanto ao processo de desenvolvimento do setor, diante das complicações que continuam a ser observadas.

Visando intervenções voltadas ao controle de cheias e melhoria das condições e controle do impacto de enchentes urbanas no país, têm sido desenvolvidos manuais e documentos normativos que orientam a implantação de infraestrutura de drenagem e estabelecem mecanismos de gestão das redes urbanas relacionada ao escoamento da água pluvial.

O controle de enchentes é um processo que deve ser realizado de forma contínua. Não há uma solução exata e simples para os problemas na malha urbana causados pelas chuvas, pois apenas o estabelecimento de regulamentos não é suficiente. Sendo assim, é preciso que exista, além do planejamento, fiscalização ao atendimento das normas, verificação da ocupação do solo de forma sustentável e prover medidas que integrem não só o governo e o setor público, mas também o setor privado e a população.

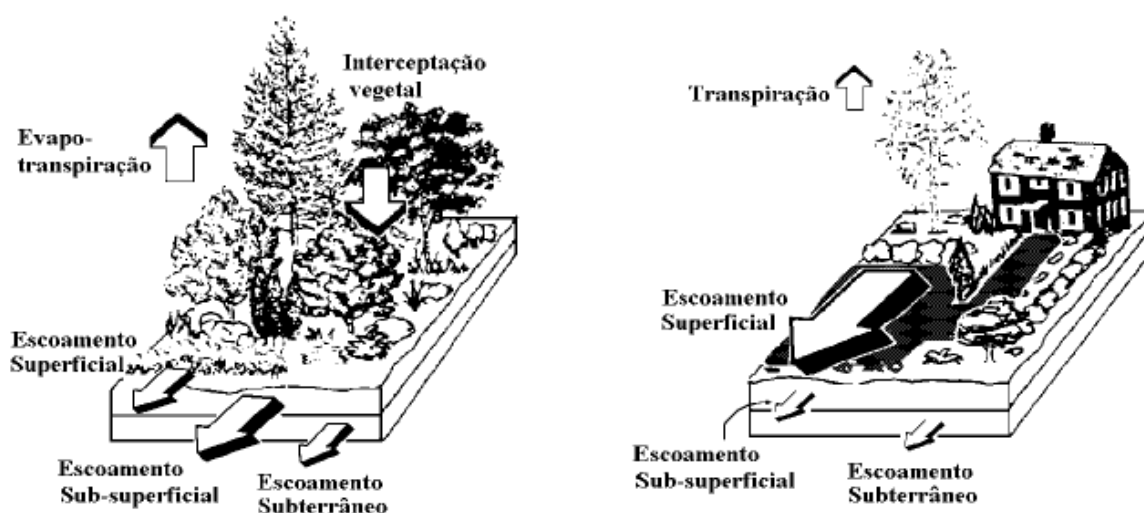
3.2 Influência da urbanização no ciclo hidrológico

O percurso da água na natureza envolve diversas etapas e fases descritas pela precipitação, evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e subterrâneo, que por sua vez, compõem o ciclo hidrológico, como apresentado na Figura 4.

Na ausência do processo de urbanização, parte da água proveniente da precipitação que cai na superfície é absorvida pela vegetação e pelo solo, e a parte excedente, segue seu curso naturalmente, de acordo com as características topográficas e geológicas da área.

Para Tucci (2012), “a urbanização tende a impermeabilizar o solo e acelerar o escoamento por condutos e canais”. Dessa forma, há o aumento da vazão máxima e maior frequência de inundações, além de deterioração da qualidade da água pluvial devido à lavagem das superfícies urbanas e de acordo com a ADASA (2018), o sistema hídrico de uma cidade, também sofre grandes impactos quando a urbanização e obras de drenagem são realizadas de forma não sustentável, o que leva à alteração da superfície e à canalização do escoamento.

Figura 4 - Ciclo hidrológico na natureza e em área urbanizada



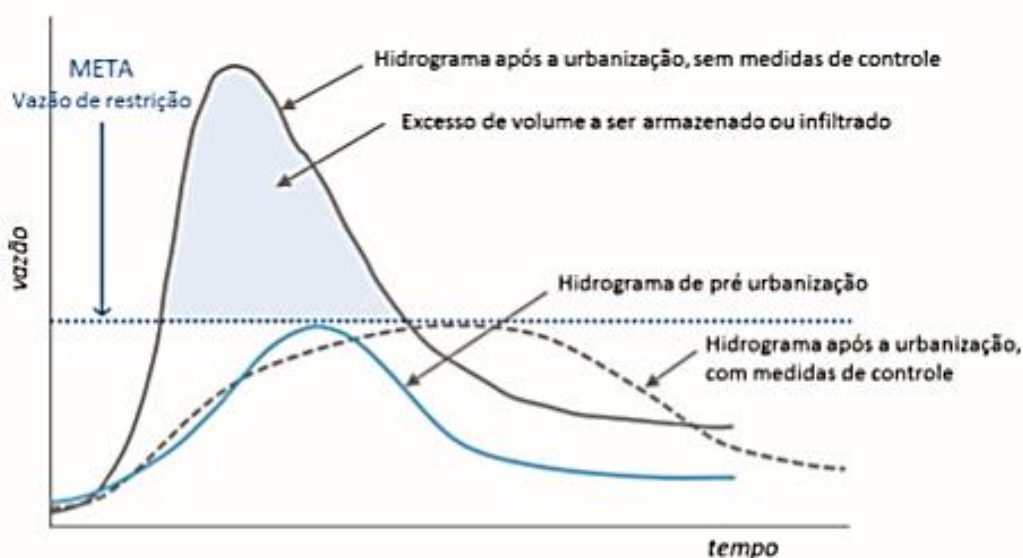
Fonte: Concremat Engenharia (2009)

Segundo Botelho (2018), no caso de retificação dos rios, eles também ficam prejudicados à medida que ele é canalizado e as áreas inundáveis são aproveitadas

para que sejam concebidas áreas para sistemas viários e ocupações de edifícios.

Quando o rio enche, em decorrência da impermeabilização do solo, ele pode inundar periodicamente o sistema viário e para evitar as inundações, as águas são canalizadas em grandes galerias, o que acaba influenciando negativamente ainda mais o ciclo da água.

Figura 5 - Representação dos hidrogramas de pré e pós-urbanização



Fonte: ADASA (2018)

A partir desses fatores da urbanização, como mostrado na Figura 5, o ciclo hidrológico de uma cidade pode ser modificado significativamente por não haver um sistema que permita que o percurso da água aconteça da forma mais natural possível, modificando a cobertura vegetal a partir da introdução de pavimentos impermeáveis e condutos de escoamento pluvial, e na época de chuva, quando não controlado adequadamente, pode ocasionar alagamentos e inundações.

3.3 Sistemas de drenagem urbana e medidas de controle

Para Tucci (2012), a drenagem de águas pluviais urbanas é composta pelo processo de formação de depressão no solo, canais naturais e sistema construído de condutos e canais. Este sistema pode ter uma variedade de dimensões que vão desde pequenos córregos, com capacidade de drenagem de alguns hectares até um rio que drena uma bacia de milhões de quilômetros quadrados.

Após a precipitação, o caminho que a água percorre nos centros urbanos é estipulado a partir do seu deslocamento nos lotes, ruas e diversas outras malhas. Dessa forma, as enxurradas passam a ter características de fluxo não mais condizentes com seu comportamento natural.

Para Tucci (2012), as medidas de controle dos sistemas de drenagem são caracterizadas como:

- a) Drenagem na fonte: definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado (como lote), estacionamentos, área comercial, parques e passeios.
- b) A microdrenagem: definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em um loteamento ou de rede primária urbana.
- c) A macrodrenagem: definida pela composição dos sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. As áreas envolvidas são, de pelo menos, da ordem de 2 km² ou 200 ha, porém não de forma absoluta pois a malha urbana pode possuir diversas configurações.

Na formação de um sistema de drenagem pluvial urbana sustentável são apresentados instrumentos e alternativas que sejam capazes de alcançar níveis de quantidade e qualidade na área social, ambiental e econômica de maneira equilibrada e eficaz.

Nos últimos anos, tem havido em diversos países desenvolvidos, avanços na criação de estratégias que estabeleçam métodos e procedimentos que minimizem o impacto ambiental causado pela urbanização. No Brasil, ainda não há esse avanço, sendo um país que utiliza medidas de controle tradicionais visando apenas o escoamento rápido das águas pluviais, já que as redes desse sistema carecem de um dimensionamento adequado.

De acordo com Netto (2018), para controlar despesas referentes a obras de regularização dos transtornos causados pelas enchentes, é necessário a otimização de espaços para infiltração, retenção e escoamento. Por esse motivo, a ampliação e zelo de parques, jardins e áreas de preservação ambiental, localizados perto de cursos d'água em particular e no solo urbano em geral, tornam-se cada vez mais significativa e fundamental para elaborar, gerar e aperfeiçoar, sistemas de drenagem.

Diante disso, os projetos de sistemas de drenagem verifica-se a necessidade de desenvolver medidas sustentáveis que funcionem em reduzidos espaços, nos

quais, projetados em grandes quantidades, mantêm as características hidrológicas da forma mais natural possível ao evitarem altas vazões de escoamento, possibilitarem a recarga de aquíferos, a partir da redução dos volumes provenientes da urbanização, e ao reduzirem a degradação do solo através da propagação de poluidores e resíduos nas zonas urbanas.

3.4 Elementos hidrológicos para projetos de drenagem urbana

Para um sistema de drenagem pluvial ser entendido e projetado de forma eficiente, principalmente em relação às vazões pluviais em ambientes urbanos, é fundamental compreender as chuvas e demais parâmetros necessários.

3.4.1 Precipitação

Para Houghtalen (2012) a precipitação é uma das fases mais importantes no ciclo hidrológico e acontece quando o vapor da água é retirado do ar e distribuído na forma líquida e sólida na superfície da Terra. É também uma das fases mais fáceis de serem medidas, porém exibe uma variabilidade de tempo e espaço mais amplos, sendo a quantificação dessa variabilidade para fins de projeto, mais complexa. A chuva pode ser caracterizada pelas seguintes variáveis:

- a) Duração: que é o período de tempo em que a chuva acontece. Podendo ser medida em horas ou minutos.
- b) Intensidade: que é a relação da altura precipitada pela duração da chuva. Geralmente se dá em mm/hora ou mm/dia.
- c) Frequência: a quantidade de ocorrências de eventos iguais ou superiores ao da chuva, geralmente em vezes por ano.
- d) Recorrência: que é o período de retorno (TR) em que uma chuva pode ocorrer ou é superada. É o inverso da frequência, e consequentemente, é definido como o inverso da probabilidade de ocorrência de determinado evento em um período de tempo, como mostra a equação 1, de Oliveira (2016).

(Equação 1)

$$TR = \frac{1}{Probabilidade}$$

A tabela 1 mostra alguns exemplos de Tempos de Retorno para projetos de drenagem urbana.

Tabela 1 – Tempo de Retorno

TEMPO DE RETORNO PARA PROJETOS DE DRENAGEM URBANA	
Descrição da área	Intervalo TR (anos)
Residencial	2 - 5
Comercial	2 - 5
Áreas de prédios públicos	2 - 5
Aeroporto	5 - 10
Áreas comerciais e avenidas	5 - 10
Macro drenagem	10 - 25

Fonte: Adaptado de PDDU (2009)

Segundo Netto (2018), estudos estatísticos de dados pluviométricos mostram que a intensidade de precipitação é diretamente proporcional à sua recorrência e dessa forma, a intensidade pode ser obtida através da equação 2.

(Equação 2)

$$i = \frac{a \cdot T^n}{(t + b)^m}$$

Onde i é a intensidade da precipitação (mm/h), T é o tempo de retorno (anos), t é a duração em minutos e a , b , n e m são parâmetros relativos ao histórico de precipitação de determinada região analisada.

A Intensidade x duração x frequência para Brasília, de acordo com Gonçalves (2011), é dada pela equação 3.

(Equação 3)

$$i = \frac{1.574,7 \cdot T^{0,207}}{(t + 11)^{0,884}}$$

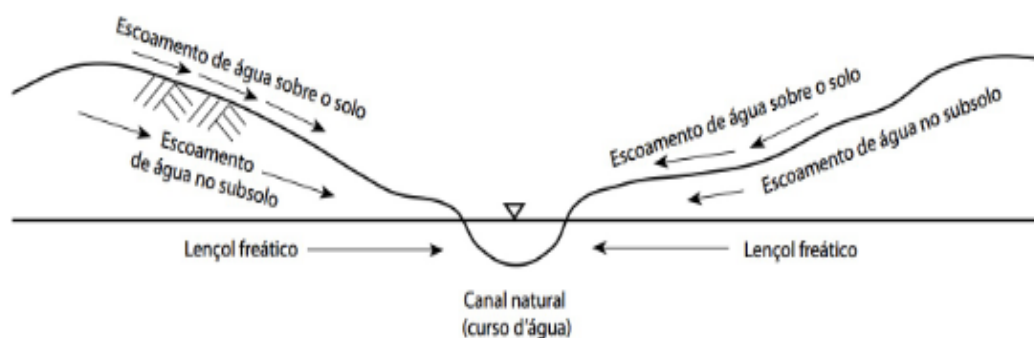
3.4.2 Escoamento superficial

O escoamento superficial pode ser explicado como sendo a parcela do volume total de água precipitado, que escoar pela superfície e sucessivamente

constitui as enxurradas, os córregos, os ribeirões, os rios, os lagos e o mar. (NETTO, 2018).

De acordo com Gribbin (2014), o escoamento superficial para projeto representa o maior volume de água que a estrutura deve conduzir. Posteriormente à precipitação e em cursos de água pequenos, o escoamento superficial atinge seu valor máximo e começa a diminuir antes que as contribuições de infiltração possam ocorrer, auxiliando na vazão. Dessa forma, a vazão de projeto provém diretamente do valor do escoamento superficial. A Figura 6 apresenta a seção transversal de um curso d'água, no qual demonstra o seu percurso.

Figura 6 - Seção transversal de um curso d'água



Fonte: Gribbin (2014)

Com a redução da infiltração, o nível do aquífero subterrâneo diminui por insuficiência de abastecimento e consequentemente, ocorre o encolhimento do carregamento hídrico dos cursos de água por meio do escoamento subterrâneo.

Um dos parâmetros mais importantes, referentes ao escoamento superficial, é o coeficiente de escoamento ou deflúvio, no qual, de acordo com Houghtalen (2012), é basicamente uma razão entre o escoamento e a chuva, que varia de nenhum escoamento ao escoamento completo, e é estabelecido através do uso e declividade da terra e do tipo de solo.

Os coeficientes de escoamento superficial são definidos a partir da descrição da sua ocupação do solo, ou seja, segundo a descrição da área e/ou tipo de superfície em que se encontra. Alguns dos valores referentes a esses coeficientes são observados nas tabelas 2 e 3, apresentadas no Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT.

Tabela 2 - Coeficiente de escoamento superficial segundo descrição de áreas

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "c"
Comércio:	
Áreas Centrais	0,70 a 0,95
Áreas da periferia do centro	0,50 a 0,70
Residencial:	
Áreas de uma única família	0,30 a 0,50
Multi-unidades, isoladas	0,40 a 0,60
Multi-unidades, ligadas	0,60 a 0,75
Residencial (suburbana)	0,25 a 0,40
Área de apartamentos	0,50 a 0,70
Industrial:	
Áreas leves	0,50 a 0,80
Áreas densas	0,60 a 0,90
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro	0,20 a 0,40
Terrenos baldios	0,10 a 0,30

Fonte: DNIT (2005)

Tabela 3 - Coeficiente de escoamento superficial segundo tipo de superfície

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "c"
Ruas:	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajetos de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Gramados; solos arenosos:	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados; solo compacto:	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: DNIT (2005)

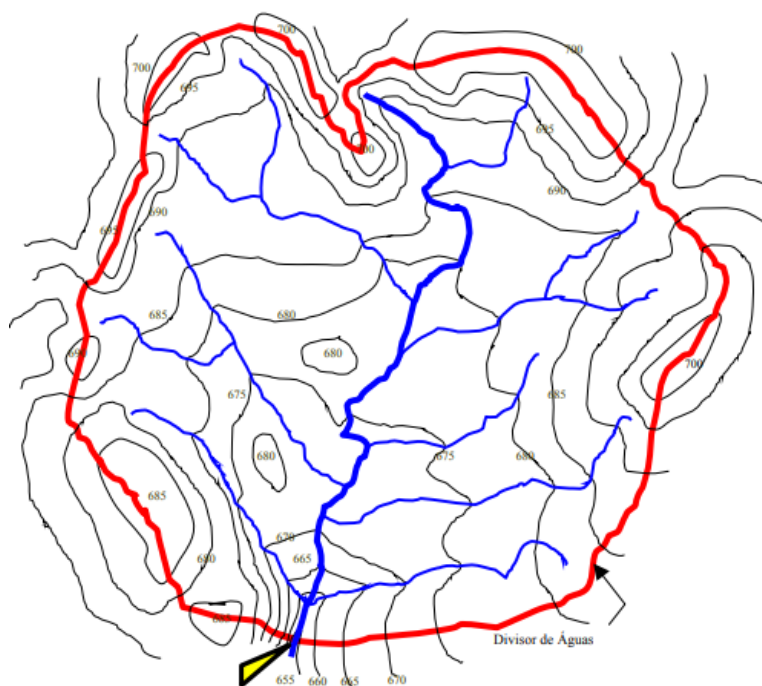
Na aplicação do coeficiente de escoamento superficial em drenagem urbana, percebe-se que conforme sucedem o aumento da declividade e a impermeabilidade do solo, o escoamento superficial também aumenta, pois passa a admitir a contribuição do volume de água que infiltrava no solo, que antes era retido pela vegetação e que se acumulava nas depressões naturais (ADASA, 2018).

3.4.3 Bacia de drenagem

Para que a vazão de um curso d'água seja obtida, é necessário determinar o tamanho da área sobre a qual a chuva incide. Esta área pode ser chamada de bacia hidrográfica, bacia de drenagem ou área de captação e faz convergir o escoamento para um único ponto, denominado de exutório, demonstrado de amarelo na Figura 7.

Para Oliveira (2016), “a bacia hidrográfica é uma área que atua como um receptor de água e sedimentos, formando uma espécie de reservatório natural”. Ela possui divisores topográficos que definem seu tamanho e posição, onde as partes mais altas do relevo são divisores de água e os declives pelos quais as águas pluviais correm, entre as divisões e rio principal, são vertentes que influenciam na velocidade, volume e sedimentos da bacia.

Figura 7- Delimitação de bacia hidrográfica



Fonte: <https://bit.ly/2q3J1QF>

A delimitação das bacias hidrográficas ou áreas de drenagem é definida primeiramente por este ponto de exutório, que é visualizado por um mapa topográfico e demarcados os pontos de maior elevação e circunscritos suas correntes como fronteiras da bacia. Dessa forma, a precipitação que ocorre dentro desta fronteira, produzirá escoamento de superfície que passa pelo ponto de projeto a ser desenvolvido.

Uma das características mais importantes de uma bacia é a declividade. Ela tem ligação direta ao escoamento superficial, umidade do solo e contribuição de água subterrânea ao escoamento do curso da água, e dessa forma não deve ser estimada separadamente a esses fatores.

Além disso, a declividade é um dos agentes reguladores do tempo do escoamento superficial e da concentração da chuva, sendo muito relevante para definição de amplitude e potência da enchente.

Um dos principais elementos que também depende da declividade e que influencia diretamente no curso d'água é a velocidade de escoamento que se torna maior proporcionalmente à declividade e conseqüentemente, gera maior variação das vazões instantâneas e menor tempo de concentração.

A obtenção de valores de declividade pode ser feita através de diversos métodos. Para um valor aproximado da declividade de um curso d'água entre dois pontos pode ser obtido pelo quociente entre a diferença entre suas cotas extremas e sua extensão horizontal, e pode ser determinado pela equação 4.

(Equação 4)

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

Onde S é a declividade, ΔH é a variação de cota entre dois pontos extremos e L e o comprimento em planta do rio.

3.4.4 Método de cálculo para vazão de projeto

Para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, é necessária a obtenção dos fluxos de pico resultantes de eventos de chuva. Para Houghtalen (2012), técnicas estatísticas de medição, apesar de serem ferramentas eficientes, nem sempre são viáveis, pois a maioria das bacias hidrográficas de pequeno porte, não possuem

medidores e é justamente nessa categoria de bacia que há o predomínio de instalações e dispositivos de drenagem pluvial.

A partir disso, um dos métodos hidrológicos mais antigos e utilizados é o Método Racional, e segundo Gribbin (2014), “este método tem origem no raciocínio puro”, que é utilizado para o cálculo da descarga máxima após um evento de chuva, que consiste na aplicação de uma expressão que relaciona o valor dessa descarga com a área da bacia e intensidade da chuva, não sendo usado para o cálculo do escoamento antes ou depois do pico. Este método, de acordo com o DNIT (2009), se baseia equação 5.

(Equação 5)

$$Q_p = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6}$$

Onde Q_p é a descarga máxima (vazão de pico), em m^3/s , C é o coeficiente de deflúvio (escoamento), I é a intensidade da chuva definida em mm/h e A é a área da bacia hidrográfica em km^2 .

O Método Racional ainda exige a definição de um parâmetro, denominado coeficiente de deflúvio/escoamento, que expressa o comportamento da área na formação do deflúvio e suas condicionantes. É importante ressaltar que a vazão máxima de uma bacia urbana se amplifica de acordo com a parcela de área impermeável e com a canalização do escoamento. De acordo com Tucci (2003), “este aumento ocorre em detrimento da redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo e da redução do tempo de concentração da bacia”.

3.4.5 Definição de tempo de concentração

Segundo Netto (2018), o intervalo de tempo de duração da chuva necessário para que a bacia passe a contribuir completamente para a vazão na seção de drenagem é denominado tempo de concentração.

O tempo de concentração também pode ser a medida de tempo no qual o escoamento da água ocorra do ponto mais distante da bacia até seu exutório. Assim, para obtenção ao do tempo de concentração, instituem-se por meio do tamanho, forma, declividade e condições do solo de uma bacia.

Para estimar o tempo de concentração, é preciso localizar o “ponto mais remoto” na bacia de drenagem e, então, esboçar o percurso do escoamento desse ponto, como se ele fizesse o caminho até o exutório. (...) É possível que o ponto mais remoto não seja necessariamente o mais distante do exutório. Por exemplo, se o escoamento na bacia de drenagem flui vagarosamente em razão da declividade e das condições do solo, maior tempo será necessário até atingir o exutório, ainda que não cubra a maior distância. (GRIBBIN, 2014, p. 202)

Apesar de ser possível estabelecer um parâmetro que indique o tempo de concentração, há uma incerteza na prática de definição que frequentemente influencia a concepção dos métodos de cálculo. Conforme a última gota a chegar do ponto mais distante corresponde teoricamente a escoamentos de baixa magnitude o tempo de concentração por vezes tende a ser maior que o real tempo de concentração, que é induzido pela propagação hidráulica com porção média superior.

O comportamento de cada bacia pode diferir de forma bastante significativa no tempo de concentração, de outra que possui características de localidade, rurais ou urbanas, similares. Dessa forma, dentro de uma mesma classificação de bacias urbanas, são apresentadas fórmulas que definem o tempo de concentração com parâmetros diferentes e conseqüentemente, resultados divergentes, que podem ou não demonstrar considerável variação.

De acordo com uma avaliação de desempenho do tempo de concentração realizada por Silveira (2005), grande parte das equações urbanas assegurou sua aptidão para uso efetivo em bacias urbanas, porém de todas, apenas três mostraram-se pertinentes às áreas de bacia teoricamente aconselhadas, estas, referem-se às fórmulas de Schaake, Carter e Desbordes, apresentadas nas equações 6, 7 e 8. A fórmula com maior representatividade urbana é a de Carter, que utiliza apenas as variáveis explicativas quanto ao seu comprimento e declividade.

(Equação 6 –Schaake)

$$T_c = \frac{0,0828 \cdot L^{0,24}}{S^{0,16} \cdot A_{imp}^{0,26}}$$

(Equação 7 – Carter)

$$T_c = \frac{0,0977 \cdot L^{0,6}}{S^{0,3}}$$

(Equação 8 – Desbordes)

$$T_c = \frac{0,0869 \cdot A^{0,3039}}{S^{0,3832} \cdot A_{imp}^{0,4523}}$$

3.5 Elementos hidráulicos

Os dispositivos que compõem um sistema de drenagem são aqueles que coletam e conduzem as águas pluviais provenientes dos lotes e sistemas viários a um correto local de destino. Por sua vez, com o avanço de novas tecnologias, é possível verificar a eficiência de novos dispositivos que, combinados a estratégias arquitetônicas e paisagísticas, controlam as enchentes, melhoram a qualidade da água e diminuem o escoamento superficial de forma sustentável e viável em algumas cidades.

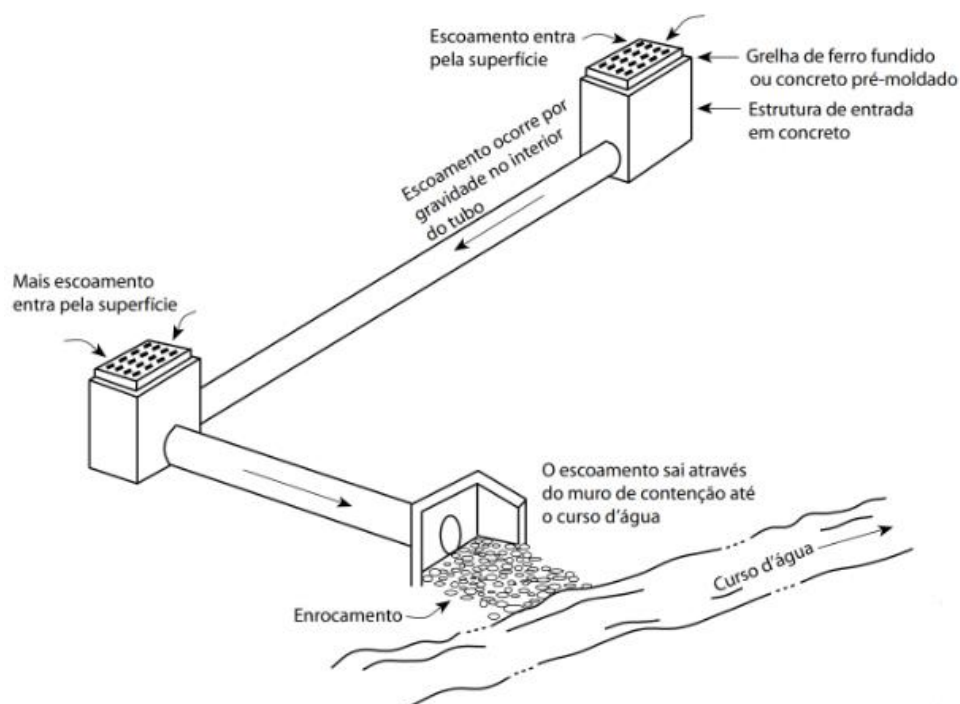
Importante ressaltar que é necessário o estudo de diversos outros parâmetros, tais como tipo de solo, propriedades hidráulicas e capacidade de infiltração, tanto no que tange aos dispositivos quanto à área em que ele será implantado.

3.5.1 Dispositivos de transposição urbana

Para Gribbin (2014), os dispositivos de transposição, como na Figura 8, podem ser classificados, basicamente em estruturas de entrada, as quais permitem a convergência das águas pluviais no sistema de coleta, tubulações, que transportam as águas pluviais em direção a um corpo receptor, e o muro de contenção, que permite que as águas pluviais saiam do sistema.

Para um projeto de drenagem urbana, esses dispositivos devem ser estudados e elaborados de forma mais detalhada e particular, pois comparado aos projetos de drenagem em trechos rurais, há uma diferença bastante significativa pela quantidade de fluxo e mobilidade nos trechos urbanos.

Figura 8 - Dispositivos de drenagem pluvial



Fonte: Gribbin (2014)

As estruturas de captação e transporte são compostas basicamente por sarjetas, bocas de lobo, poços de visita, e galerias. De acordo com a ADASA (2018), esses dispositivos, contudo, aceleram a velocidade de escoamento e provocam uma redução do tempo de concentração.

Dessa forma, a partir do aumento das vazões máximas e ocorrência dos picos de vazão antes do natural, estes dispositivos acabam apresentando um impacto ambiental e econômico muitas vezes negativo, o que faz com que eles, conseqüentemente, apresentem baixa viabilidade de implantação para controle das cheias.

3.5.2 Dispositivos e técnicas para controle na fonte

O desenvolvimento de estratégias e implantação de dispositivos para controle de drenagem no lote é um dos métodos que tem sido estudado com bastante frequência nos últimos anos, principalmente em outros países. Alguns estudos apresentam resultados que confirmam que as utilizações desses dispositivos exercem efetivamente funções sustentáveis no processo de drenagem das águas urbanas.

De acordo com Tucci (2003), afirma que as principais medidas sustentáveis na fonte que mais têm sido utilizadas são a detenção de lote, através de pequenos reservatórios, que controla apenas a vazão máxima e áreas de infiltração, que recebem a água de áreas impermeáveis e recuperam a capacidade de infiltração da bacia.

Para ADASA (2018), as medidas de controle na fonte podem ser classificadas sendo por infiltração ou por armazenamento de acordo com o processo de abatimento de vazão, nas quais podem, caso necessário, funcionar ao mesmo tempo. Esses dispositivos são ainda considerados como técnicas compensatórias estruturais de controle na fonte, as quais podem ser localizadas e lineares.

Segundo Melo (2011, apud Canholi, 2005), “as técnicas compensatórias na fonte (*in situ*), geralmente são inseridas próximas aos locais de gerações de deflúvios e diferem do conceito tradicional de canalização”. Alguns desses dispositivos utilizados encontram-se na tabela 4.

Tabela 4 - Dispositivos para controle de escoamento na fonte

Dispositivos para controle na fonte	Infiltração	Armazenamento	Linear	Localizada ou pontual
Telhado verde		X		X
Trincheira de Infiltração	X	X	X	
Vala de infiltração	X		X	
Pavimento Permeável	X	X	X	X
Biorretenção	X	X	X	X

Fonte: Adaptado de Adasa (2018)

Ainda, investir em uma infra-estrutura verde, tais como os dispositivos de biorretenção, é vantajoso no sentido de retomada de parte do funcionamento natural dos ecossistemas e ao serem implantados, podem compensar a impermeabilização produzida por novas áreas, a partir do controle do escoamento superficial através da infiltração e armazenamento temporários, como no caso dos canteiros pluviais, ilustrados na Figura 9, que se enquadram nos sistemas de biorretenção.

Figura 9 - Ilustração de um canteiro pluvial



Fonte: <http://jardinsulacapbairrosustentavel.blogspot.com/2017/02/>. Acesso em 12/10/2018.

3.5.2.1 Telhados verdes

Os telhados verdes são estruturas que podem ser implantadas em coberturas ou telhados de edifícios comerciais, escolares, turísticos ou residenciais, não só com o objetivo de embelezar o empreendimento, mas de também funcionar como estruturas capazes de termorregular ambientes e funcionar como dispositivos que favoreçam o manejo de águas pluviais (MELO, 2011).

As Figuras 10 e 11 mostram exemplos de telhados verdes e a tabela 5 apresenta a comparação entre os telhados verdes e telhados convencionais.

Figura 10 - Telhado verde em Berlim

Fonte: <https://www.dw.com/pt-br/berlim-cidade-esponja-na-luta-contra-o-aquecimento-global/a-19421977>. Acesso em: 29/10/2018

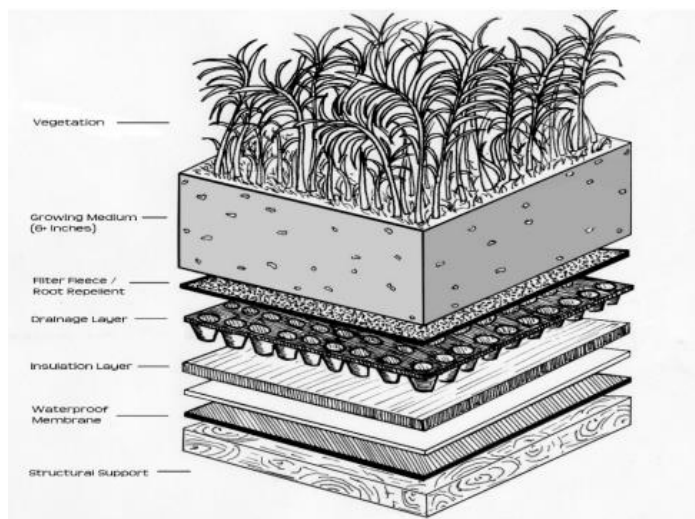
Tabela 5 – Comparação entre telhado verde e telhado convencional

Assunto	Telhado Verde	Telhado Convencional
Retenção de volume	10-35% durante a época chuvosa, 65-100% durante a época seca	nenhuma
Mitigação da vazão de projeto	Redução dos picos de escoamento de chuvas intensas	nenhuma
Mitigação da temperatura	Todas as chuvas	nenhuma
Melhoria da qualidade da água	Retém a deposição atmosférica e retarda a degradação dos materiais que copõem o telhado	não
Conservação de energia	Isolamento das construções e redução dos impactos das "ilhas de calor urbanas"	nenhuma
Vegetação	Permite evapotranspiração sazonal e balanço do carbono hídrico	nenhuma
Redução das taxas de drenagem urbana	Pode chegar a 45%	nenhuma
Aprovado como medida de gestão de água da chuva	Para todas as necessidades atuais ds cidades	não

Fonte: Adaptado de Ferreira e Moruzzi (2007)

De acordo com Ferreira e Moruzzi (2007), esse tipo de dispositivo, quando comparado aos convencionais, além de apresentar diversos benefícios ao ambiente em que é feito, contribui com a qualidade dos fatores urbanísticos da área.

Figura 11 - Camadas de pavimentação dos telhados verdes

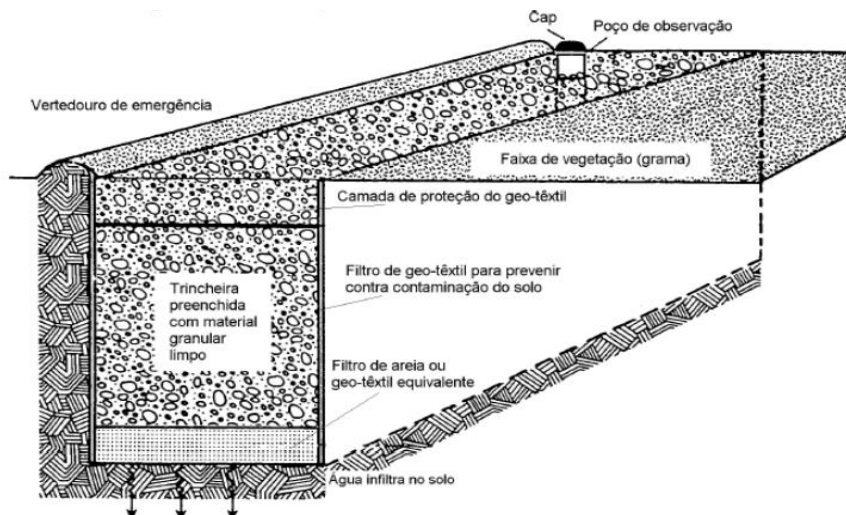


Fonte: MA (2016)

3.5.2.2 Trincheiras de infiltração

De acordo com Melo (*et al.*, 2016) as trincheiras de infiltração podem ser definidas como “uma técnica linear, na qual a dimensão de comprimento é superior às de largura e profundidade”, conforme a Figura 12 e 13.

Figura 12 - Elementos de uma trincheira de infiltração



Fonte: Poleto e Peiter (2012, apud, Souza e Goldenfum, 1999)

Para Graciosa (2005 apud, Mikkelsen e Jaconsen, 1993), elas constituem ainda em frestas no solo, que podem ou não ser preenchidas com britas, e uma vez que as águas pluviais são drenadas de uma superfície conectada à trincheira, elas são temporariamente armazenadas na porosidade da brita e em seguida, filtradas no solo.

Figura 13 - Trincheira de infiltração



Fonte: Tassi (*et al.*, 2016, apud INTI, 2012)

Segundo Ferreira (2015), este tipo de dispositivo é utilizado para controle de enchentes em pequenas áreas contribuintes e dimensionado para infiltrar toda água proveniente das chuvas de acordo com seu período de retorno. Ainda, um dos principais objetivos das trincheiras envolve o armazenamento das águas superficiais para posterior percolação da água no solo e recarga das águas subterrâneas, ao mesmo tempo em que retém as partículas de resíduos de poluição que são transportados pelo escoamento superficial.

3.5.2.3 Vala de infiltração

As valas de infiltração, demonstradas nas Figuras 14 e 15, são dispositivos de drenagem lateral que geralmente são implantados rente às ruas, estacionamentos e conjuntos habitacionais. Elas criam condições para que haja infiltração ao longo do seu comprimento, agindo como canais que ao transportar a água para outros dispositivos reduzem a velocidade e volume de armazenamento.

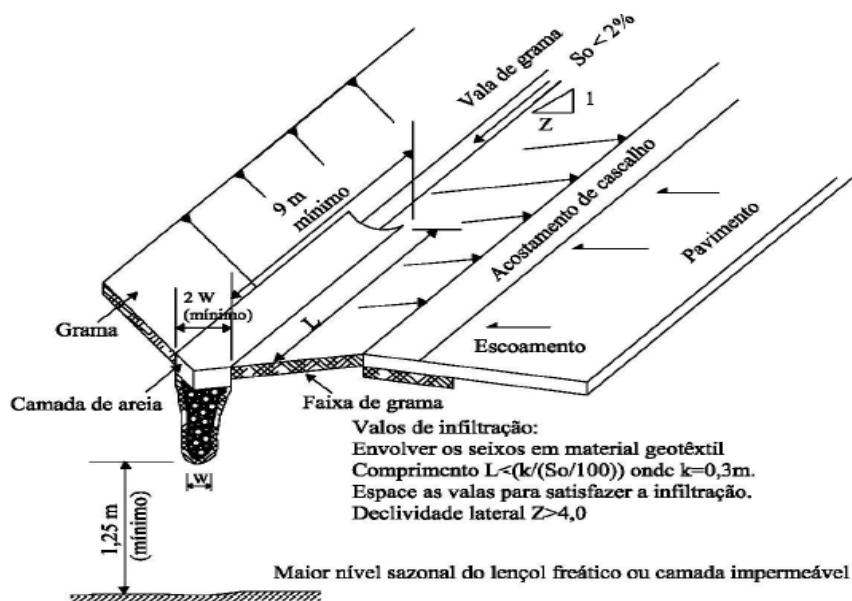
Figura 14 - Valas de infiltração



Fonte: Tassi (*et al.*, 2016, apud RiverSides, 2012)

Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana, esse dispositivo funciona como um reservatório de detenção quando o volume que escoar se torna maior do que a capacidade de infiltração. Para que o funcionamento desses dispositivos ocorra de forma efetiva é necessário que os sedimentos acumulados nas barreiras sejam removidos antes do início do período de chuvas, ou sempre que estiver prejudicando o escoamento.

Figura 15 - Estrutura de uma vala de infiltração



Fonte: Concremat Engenharia (2009, apud Urbonas & Stahre, 1993)

3.5.2.4 Pavimento permeável

Os pavimentos permeáveis, como nas Figuras 16 e 17, são dispositivos que possuem como propriedade, a redução do escoamento superficial das águas pluviais e podem ainda melhorar a qualidade da água e contribuir para o aumento da recarga de água subterrânea (Dias & Antunes, 2010; Araújo *et al.*, 2000).

Figura 16 - Pavimento permeável

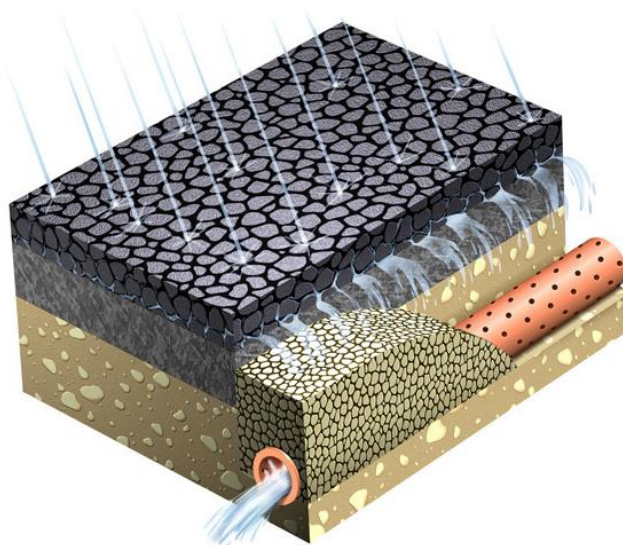


Fonte: http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf

Para Melo (2011), “a disposição estrutural desses dispositivos varia de acordo com o objetivo de cada projeto”. Dessa forma, considerando que para implantação esses dispositivos somente são viáveis para taxa de infiltração do solo superior a 7 mm/h, é necessário adaptar a sua concepção para infiltração parcial, total ou até mesmo nula, dependendo da área de implantação.

Nos casos de pavimentos permeáveis sem infiltração, pela impermeabilidade do subleito, a base do pavimento funciona como um reservatório de amortecimento, nos quais o volume é determinado pelos vazios do material granular e o excesso é coletado por drenos e conduzido a um exutório (ADASA, 2018).

Figura 17 - Pavimento permeável com e sem tubo de dreno

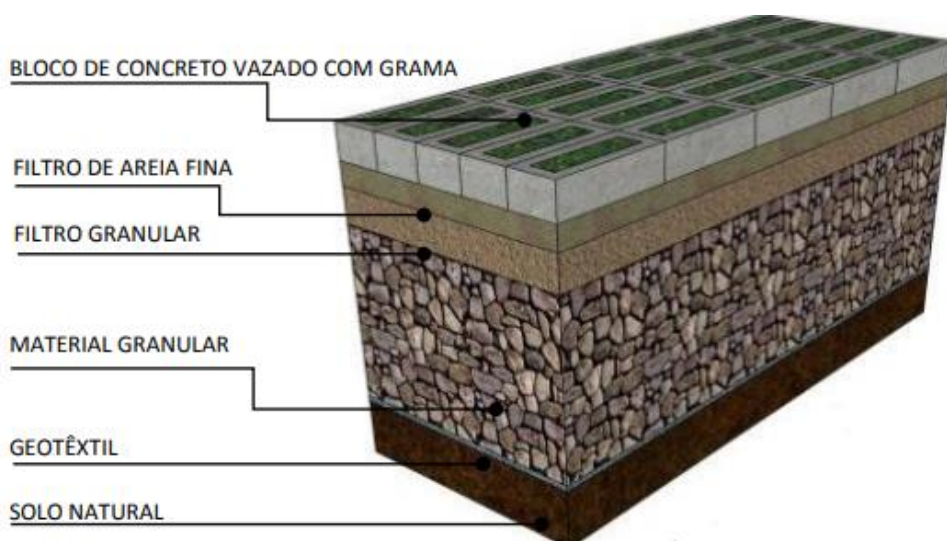


Fonte: <http://hacksdaengenharia.blogspot.com/2016/10/pavimento-permeavel-tecnologia-que-pode.html/>. Acesso em 11/10/2018.

Ainda para Dias e Antunes (2010), “a utilização do pavimento permeável tem se mostrado vantajosa também sob o aspecto econômico”, pois os custos de implantação quando comparados aos convencionais, apresentam vantagem pela redução dos custos nos sistemas de drenagem.

Esses pavimentos podem ser feitos com asfalto ou concreto poroso e blocos de concretos vazados, Figuras 18 e 19, preenchidos com material granular e são construídos de forma similar ao convencional (CONCREMAT ENGENHARIA, 2009).

Figura 18 - Pavimento permeável de blocos de concreto vazados com grama



Fonte: Melo (2011)

Figura 19 - Pavimento de concreto permeável

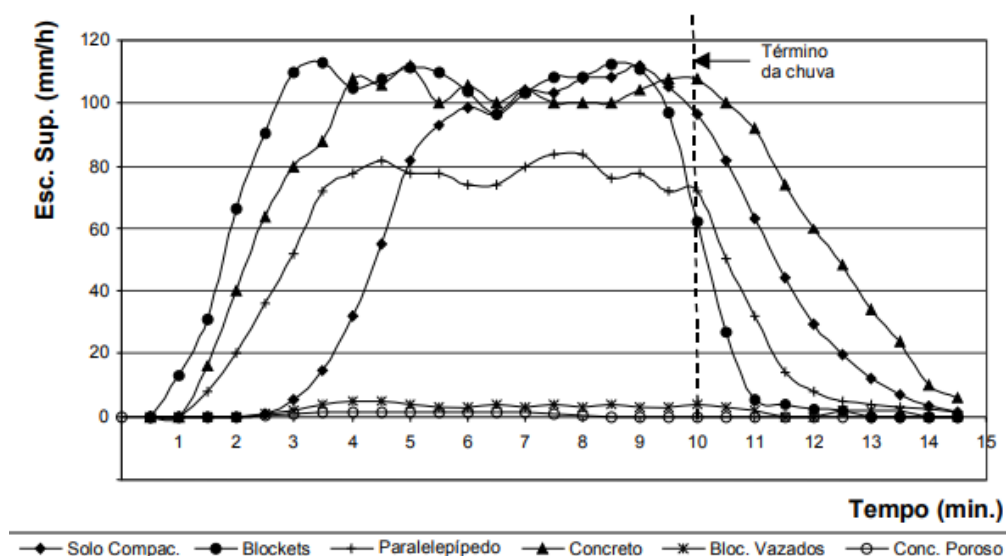


Fonte: http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf

Alguns pontos a serem ressaltados, envolvem o cuidado para evitar o entupimento dos furos ou poros e a dificuldade de manutenção, pois ervas daninhas podem crescer no pavimento, diminuindo sua eficiência.

Segundo estudos de Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), uma simulação entre diferentes superfícies, utilizando como parâmetros intensidades de precipitação similares apresentaram resultados de escoamento superficiais bastante distantes entre os permeáveis e não permeáveis, sendo que para utilização de blocos vazados e concreto poroso o valor do escoamento chegou a quase zero, conforme Figura 20.

Figura 20 - Escoamento superficial em diferentes superfícies



Fonte: Araújo, Tucci e Goldenfum (2000)

Ainda segundo os autores, o uso dos pavimentos permeáveis pode descartar o uso de um sistema de drenagem convencional caso as condições locais permitam a infiltração completa no solo das águas provenientes de precipitação.

3.5.2.5 Biorretenção (*Jardins de chuva, canteiros pluviais e biovaletas*)

Os sistemas de biorretenção funcionam como ecossistemas capazes de atuar como redes naturais de drenagem que são aproveitadas como infraestrutura para controle de enchentes.

A biorretenção tende a imitar as condições hidrológicas naturais associadas ao tratamento das águas e ao controle de volumes escoados superficialmente. Os sistemas não controlam 100% da qualidade e quantidade, mas potencializam os valores para que se tornem positivos. (MELO, 2011, apud ROY-POIRIER *et al.*, 2010)

Além disso, essa medida utiliza a atividade biológica das plantas e microorganismos para remover os poluentes das águas pluviais e no caso de evento de chuvas intensas que ultrapassem a eficácia de projeto, este fluxo é conduzido para os coletores de chuva.

Esses dispositivos são considerados por Cormier e Pellegrino (2008), como estratégias paisagísticas que aplicadas aos sistemas naturais tem a capacidade de atender às demandas relacionadas à readequação da infraestrutura urbana já implantada, referentes à drenagem e à qualidade da água.

Algumas das vantagens e consideração referentes ao uso dos sistemas de biorretenção citadas por Melo (2011) envolvem também a mitigação das ilhas de calor e vasta aplicabilidade e boa aceitação pela população, além de que para o dimensionamento de projeto devem ser observados os parâmetros referentes à porcentagem de área impermeável, colmatação e utilização de plantas nativas e de fácil manuseio. Algumas dessas técnicas são os jardins de chuva, canteiros pluviais e biovaletas.

Jardins de chuva: “São depressões topográficas existentes ou reafeiçoadas para receberem o escoamento da água pluvial proveniente de telhados e demais áreas impermeabilizadas limítrofes” (CORMIER, 2008).

Figura 21 - Jardins de chuva



Fonte: Cormier e Pellegrino (2008)

Esses dispositivos, ilustrados nas Figuras 21 e 22, são aplicados devido ao seu desempenho na redução e remoção natural de poluentes das águas superficiais e funcionam como uma estrutura hidrológica funcional na paisagem, de baixo investimento e manutenção simplificada (MELO, 2011, apud LI & SHAO, 2008).

Figura 22 - Jardim de chuva

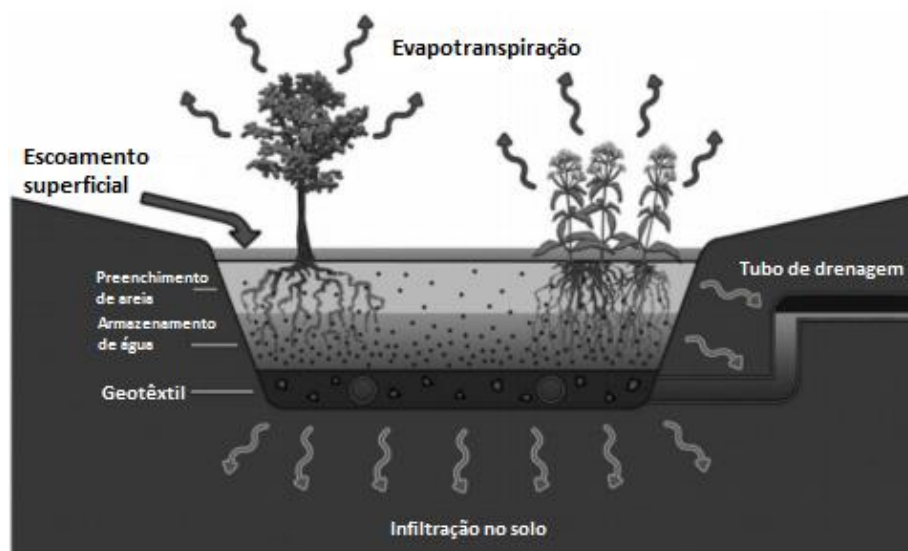


Fonte: Draper (2011)

Para o desenvolvimento de projetos relativos aos jardins de chuva apresentam diversas metodologias que variam de acordo com a escala, características locais e área de implantação, em que é necessário considerar o

comportamento do solo, topografia e precipitação. Suas camadas podem ser observadas conforme Figura 23.

Figura 23 - Representação das camadas de um jardim de chuva



Fonte: Adaptado de MA (2016)

Algumas das vantagens e desvantagens da utilização desse sistema são destacadas conforme tabela 6.

Tabela 6 - Considerações sobre o uso de jardins de chuva

Vantagens	Desvantagens
Reduz quantidade de escoamento superficial	Limite de área de contribuição por elemento filtrante
Melhora qualidade das águas de escoamento através de filtração e favorece degradação de hidrocarbonetos	Possibilidade de colmatção (entupimento) dos leitos filtrantes
Versatilidade de designs de projeto e formatos	Se há presença de lençol freático raso é necessária a impermeabilização do elemento, tornando-o um elemento de filtragem, sem função de infiltração
Reduz custos associados aos sistemas de drenagem	

Fonte: Adaptado de Soluções para Cidades (2018)

Os canteiros pluviais, Figura 24, podem ser definidos como pequenos jardins de chuva localizados em ruas ou edifícios para receber água de áreas impermeáveis, podendo ser com ou sem infiltração. Para Cormier e Pellegrino

(2008) nos casos com infiltração podem contar com um extravasor e sem infiltração, com apenas a evaporação, evapotranspiração e transbordamento.

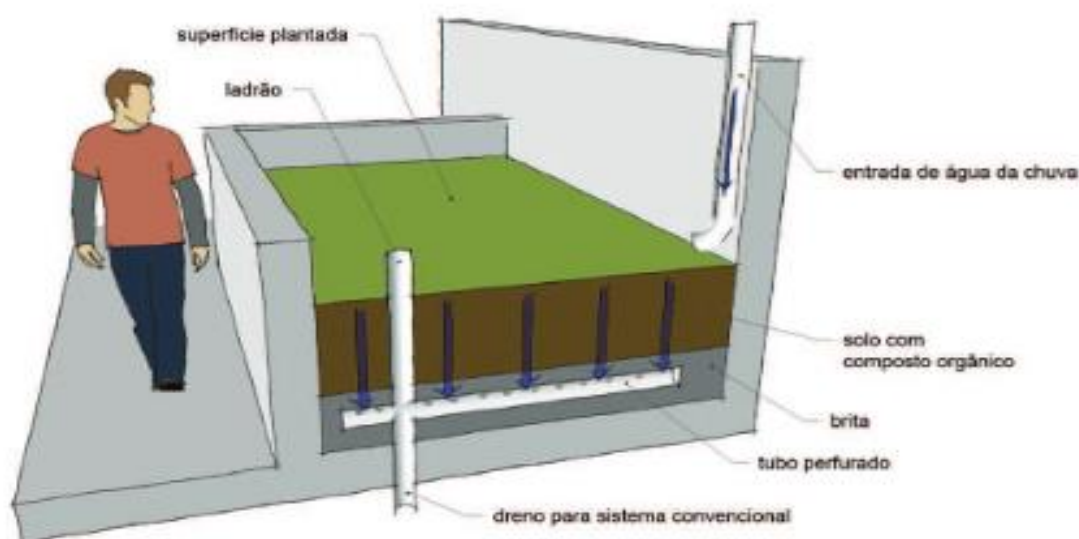
Figura 24 - Canteiros pluviais



Fonte: http://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0913870_2011_cap.4.pdf

O modelo de funcionamento dos canteiros pluviais se assemelha aos jardins de chuva na sua composição, pois há também a inserção de uma camada de solo para aumentar a porosidade e capacidade de retenção de drenagem, demonstrado na Figura 25.

Figura 25 - Camadas de um canteiro pluvial



Fonte: Cormier e Pellegrino (2008)

Alguns dos benefícios que envolvem esses dispositivos são a detenção e filtragem de água, infiltração, diminuição do escoamento superficial, promoção da biodiversidade e moderação das ilhas de calor. Além disso, eles podem ser implantados em meios urbanos muito densos, requalificando o espaço.

As biovaletas, Figura 26, são sistemas que se referem à biorretenção em depressões lineares preenchidas com vegetação, solo e demais elementos (CORMIER e PELLEGRINO, 2008).

Figura 26 - Sistema de biovaleta



Fonte: <https://www.watershedcouncil.org/bioswale.html>. Acesso em: 10/11/2018.

Este sistema direciona a água para jardins de chuvas ou sistemas convencionais, conferindo também infiltração da água proveniente da chuva e proporcionando sua limpeza, ao mesmo tempo em que diminui a velocidade de escoamento. Para que a execução de projeto de uma biovaleta é necessário que os limites das áreas de contribuição sejam verificados a fim de observar a existência de outros tipos de instalações e também a topografia do local, como na Figura 27.

Figura 27 - Sistema de biovaleta

Fonte: Adaptado de <https://bit.ly/2B0JqK0>. Acesso em: 12/10/2018.

A composição das camadas é feita a partir do preenchimento de meios filtrantes de acúmulo e retenção de água. Caso não seja possível, a partir da taxa de permeabilidade do solo, a infiltração total do escoamento superficial, pode ser introduzido uma camada que funcione como reservatório de detenção ao fundo da biovaleta, junto a um tubo-dreno ao longo de toda extensão do dispositivo.

Algumas das vantagens e desvantagens da utilização desse sistema são destacadas conforme tabela 7.

Tabela 7 - Considerações sobre o uso de biovaletas

Vantagens	Desvantagens
Reduz quantidade de escoamento superficial	Construção detalhada que requer atenção na execução por mão de obra qualificada para minimizar possibilidade de entupimento e falhas do sistema
Pode minimizar/mitigar efeitos de aquaplanagem se próximo a pistas de rodagem	Necessário sistema de drenagem de fundo, caso a taxa de infiltração do solo seja baixa
Pode reduzir em até 80% o volume anual de escoamento da área de contribuição	
Diversas possibilidades de entrada de água no sistema: escoamento superficial, cortes no meio-fio, trincheiras de drenagem, fluxo concentrado em tubulação, ou similar	
Elemento paisagístico nas calçadas, canteiros centrais, parques e praças em centros urbanos e rurais	
Facilita limpeza das vias, já que o lixo grosseiro tende a ficar na superfície da biovaleta	

Fonte: Soluções para Cidades (2018)

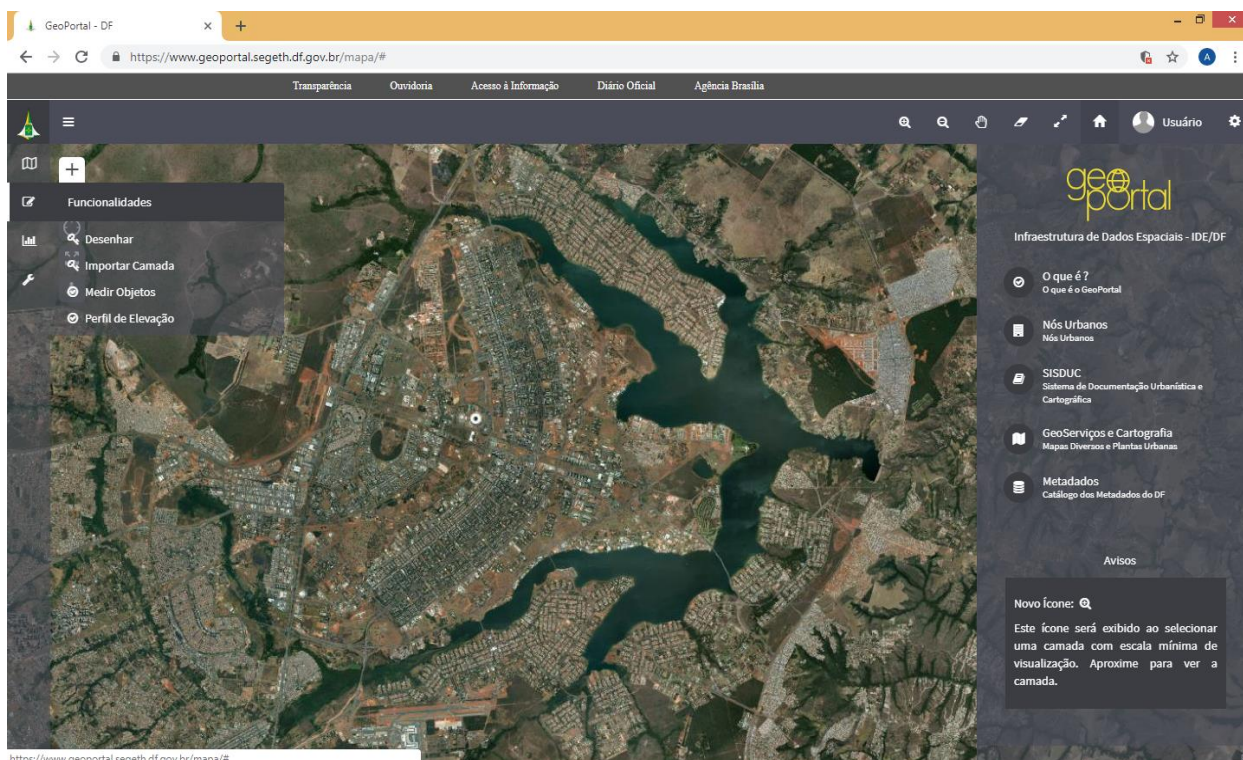
4. METODOLOGIA

Para desenvolvimento de metodologia de estudo de caso, foram utilizados os seguintes ferramentas:

- a) Manuais Técnicos do Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal: Para projeto de soluções alternativas de Drenagem Pluvial e Normas para apresentação de projeto;
- b) Manual de Drenagem e Manejo de águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal coordenados pela ADASA: Para análise dos critérios de projeto de medidas de controle na fonte;
- c) Geoportal da Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação – SEGETH: Para obtenção de dados georreferenciados do local a ser avaliado. O uso desta ferramenta é bastante intuitivo e de fácil manuseio, no qual funciona como um mapa dinâmico do Distrito Federal.

A partir da iniciação do programa, é encontrada uma aba que permite a utilização de suas ferramentas para medição e perfil de elevação, como demonstrado abaixo.

Figura 28 - Geoportal (SEGETH)



Fonte: <https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/#>. Acesso em 09/11/2018.

- d) Google Earth: Para verificação de dados quanto à ocupação de solo no local de estudo;

A metodologia de cálculo e dimensionamento foi feita a partir da referência de outras literaturas que descrevem a aplicação de técnicas compensatórias e posteriores dimensionamentos na fonte.

4.1 Descrição da área de estudo de caso

As figuras 29 e 30 mostram a área de estudo escolhida, que corresponde também à área de drenagem, pertence às Quadras 707/907 Norte e 708/908 Norte, Figuras 29 e 30. Esta é uma área escolar e universitária, na qual muitas pessoas transitam em diversos horários. Nas vias de travessia, é possível identificar pontos de alagamento durante eventos de chuvas mais intensas.

A ocupação total dessa área e seus respectivos coeficientes de escoamento, são descritos pela tabela 8. O coeficiente de escoamento da área total é definido através da média ponderada dos coeficientes de cada área, conforme equação 9.

(Equação 9)

$$C_t = \sum \frac{A_i \cdot C_i}{A_t}$$

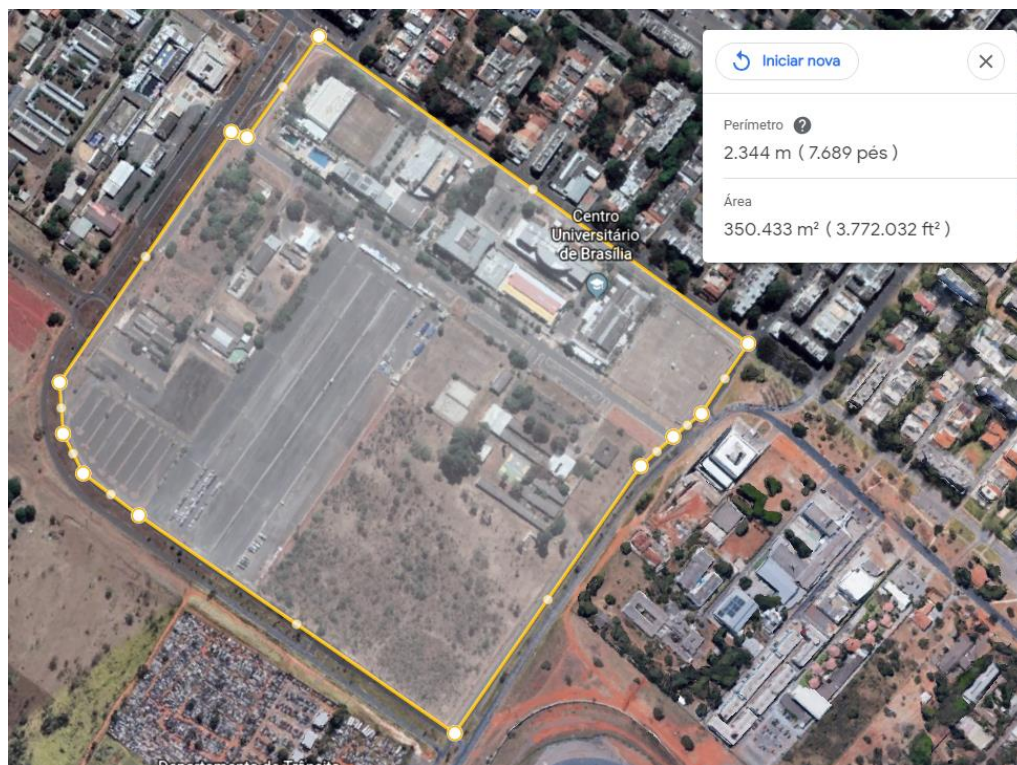
Onde C_t é o coeficiente correspondente a área total, A_i é a área específica e C_i é o seu coeficiente de escoamento respectivo.

Tabela 8 - Ocupação total da área

Tipo de ocupação	Área (km²)	Coeficiente de escoamento
Campus Asa Norte - UniCEUB (707/907 Norte)	0,087	0,720
Centro Educacional – Gisno (908 Norte)	0,023	0,400
Estacionamento AutoPark	0,064	0,900
Área de cobertura vegetal (907 Norte)	0,087	0,180
Estacionamento Bloco 11	0,024	0,902
Bloco 11	0,033	0,750
Cobertura vegetal	0,011	0,180
Edifícios	0,005	0,600
Asfalto e calçadas	0,015	0,900
Total	0,349	0,601

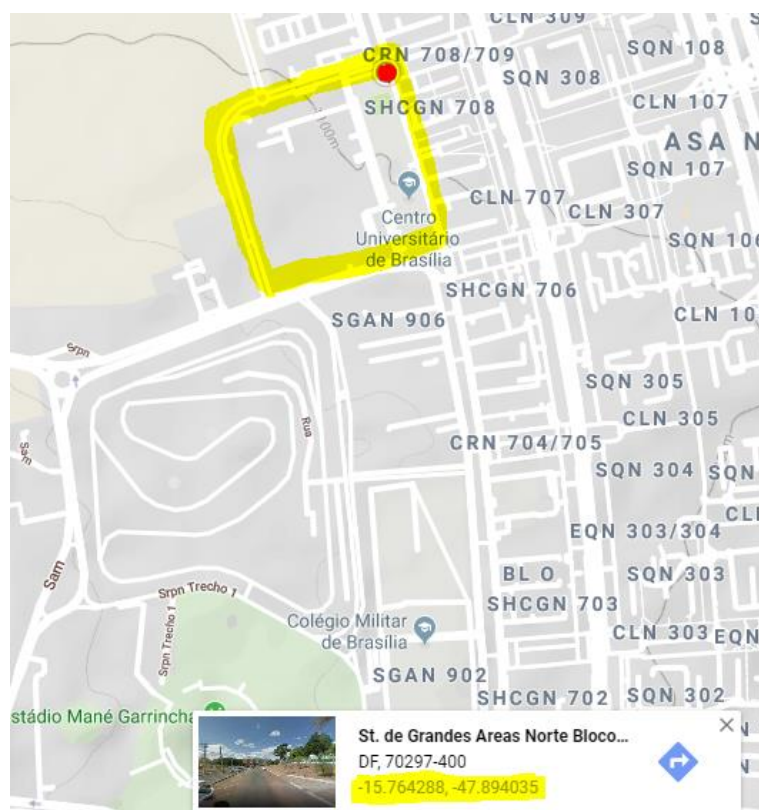
Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 29 - Planta da área total analisada



Fonte: Google Earth (2018)

Figura 30 - Mapa de situação geral



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018)

4.2 Análise e verificação dos alagamentos

A análise da área total indicou pontos de alagamentos nas vias do estacionamento externo ao campus do UniCEUB e as vias de entrada/saída do estacionamento Autopark, conforme demonstrado na Figura 31.

Figura 31 - Ilustração dos pontos de alagamento



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Figura 32 - Escoamento superficial no estacionamento AutoPark



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 33 - Escoamento superficial no estacionamento AutoPark



Fonte: Autoria própria (2018)

Em eventos de chuvas mais intensas, o escoamento proveniente do estacionamento AutoPark é mais acentuado e toda a água que escorre do estacionamento é transportada para as vias à jusante, como nas Figuras 34 e 35.

Dessa forma, há a ocorrência de alagamento nos pontos apresentados na Figura 31, pois a rede de drenagem não suporta o volume de água que surge conforme evento de precipitação.

Figura 34 - Escoamento superficial nas vias próximas ao UniCEUB



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 35 - Escoamento superficial nas vias próximas ao UniCEUB



Fonte: Autoria própria (2018)

A partir da análise e inspeção da área, conforme Figuras 32 e 33, foi possível verificar que o estacionamento não possui dispositivos de controle de escoamento superficial e a impermeabilização causada pela grande área asfaltada gera o aumento significativo da velocidade e volume de escoamento superficial.

Sendo assim, a fim de mitigar os inconvenientes causados pelos alagamentos das vias aos transeuntes e veículos foram avaliadas medidas de controle, apenas na área do Estacionamento AutoPark, de 0,0635 km², onde não seria necessário alterar, redimensionar ou substituir as instalações de águas pluviais urbanas já existentes, para não gerar maiores custos e demais inconvenientes com a modificação da rede de drenagem.

4.3 Critérios de avaliação do projeto

Os critérios do nível de complexidade do projeto e escolha do tipo de intervenção a ser adotada foram realizados através da análise do Manual da ADASA no qual “cada projeto deve ser elaborado dentro de critérios ajustados ao problema específico a ser resolvido”.

O manual apresenta a necessidade ou não de alguns estudos e parâmetros a serem utilizados segundo a definição da área de projeto de drenagem a ser planejado e executado.

Tabela 9 - Nível de complexidade de projeto

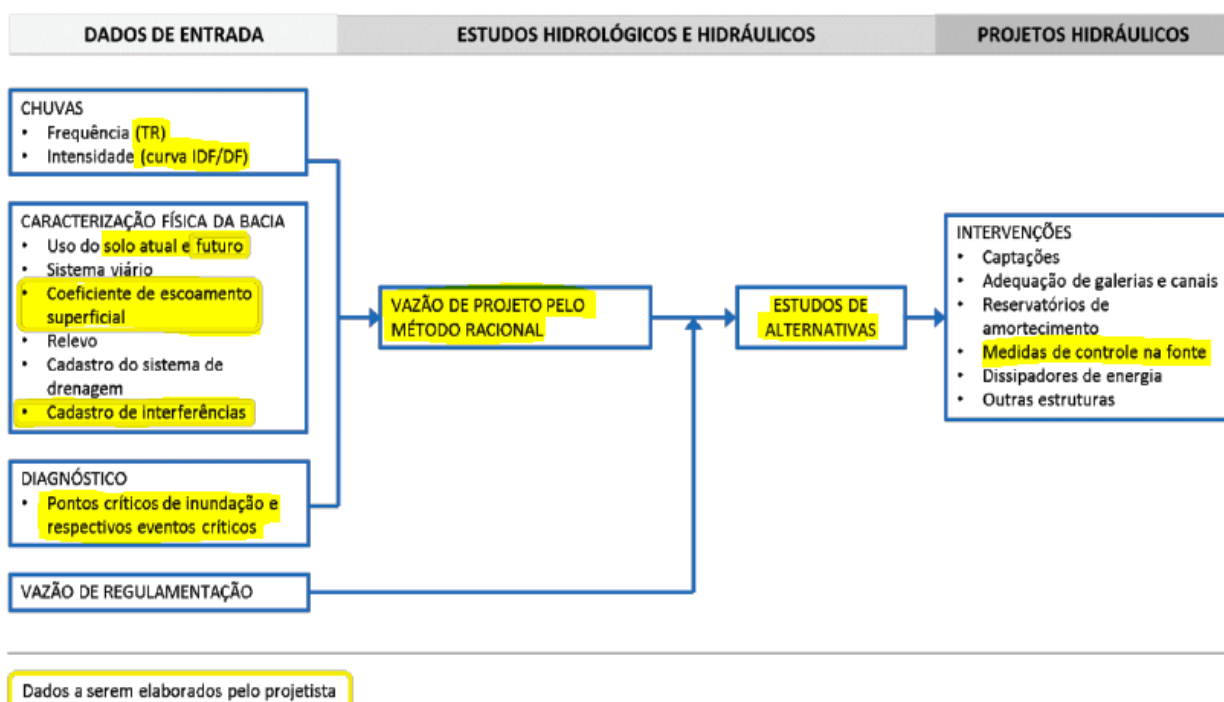
Nível de Complexidade		Baixa	Média	Alta
Área da Bacia: A (ha)		$A \leq 100$	$100 < A \leq 300$	$A > 300$
1) Vazões calculadas pelo Método Racional		●	●	●
2) Vazões calculadas por hidrogramas		○	●	●
3) Período de retomo recomendado para o cálculo da chuva de projeto		≥ 10 anos	≥ 10 anos	≥ 25 anos
4) Projeto Hidráulico considerando escoamento permanente e uniforme			●	●
5) Projeto Hidráulico considerando escoamento hidrodinâmico		○	●	●
6) Volumes de amortecimento calculados por equações lineares		●	●	●
7) Estudos de impactos a jusante	$Q_e \leq Q_r$	○	○	○
	$Q_e > Q_r$	●	●	●
8) Cálculo do tempo de permanência		○	●	●
9) Estudos de vulnerabilidade		○	●	●
10) Estudos de periculosidade		●	●	●
11) Estudos de qualidade da água		○	●	●
12) Número mínimo de alternativas		2	2	3
13) Critério de seleção de alternativas		B/C	B/C	AMC
14) Termo de Referência segundo diretrizes do Capítulo 14 deste Manual		○	●	●
○ Desnecessário na maioria dos casos		Q _e = vazão lançada a jusante pelo sistema projetado		
● Não recomendado		Q _r = vazão de pré-desenvolvimento = 24,4 L/s.ha (ADASA, 2011b)		
● Depende de avaliação específica		B/C = Estudos de Benefício/Custo		
● Recomendável na maioria dos casos		AMC = Análises Multicritérios		

Fonte: ADASA (2018)

A partir da tabela 9, define-se que este é um projeto de baixa complexidade, visto que a área de aplicação das medidas de controle que será o estacionamento AutoPark em questão é de 0,065 km² ou 6,5 ha. Portanto, para sequência de aplicação de projeto, este pode ser feito seguindo o fluxograma apresentado na Figura 36.

Figura 36 - Fluxograma para projetos de baixa complexidade

Projetos de Baixa Complexidade



Fonte: Adaptado de ADASA (2018)

Com base no fluxograma acima, são definidos os métodos de vazão de projeto, que será feito considerando os parâmetros das características locais e de solo. Fundamentado em algumas literaturas, foi realizado o estudo de alternativas para a escolha de intervenções que atendessem de forma viável e eficaz a elaboração e aplicação do projeto.

4.4 Método de dimensionamento hidrológico

A definição de vazão de projeto correspondente ao dimensionamento hidrológico foi feita utilizando o método racional, demonstrado na equação 5. Para obtenção dos parâmetros foi necessário identificar os seguintes itens:

- a) “C” (coeficiente de escoamento): obtido através do resultado da média dos valores identificados pela ocupação de solo. A tabela 8 indica os valores dos coeficientes;
- b) “I” (intensidade de precipitação): foi utilizada a expressão da curva IDF de Brasília (equação 3), no qual o tempo de duração corresponde ao tempo de concentração, que foi obtido através da equação de Carter (equação 7), que melhor expressa o tempo de concentração em bacias urbanas de pequeno porte. O tempo de retorno foi escolhido de acordo com o recomendado pela ADASA para projetos de baixa complexidade (tabela 9);
- c) “A” (área da bacia): definida pela área de contribuição do estudo de caso, conforme figura 37.

Figura 37 - Área de drenagem e perfil de elevação



Fonte: Adaptado de Geoportal SEGETH (2018)

4.5 Dispositivos de controle e método de dimensionamento hidráulico

Os métodos utilizados para escolha de dispositivos hidráulicos foram baseados na caracterização da área, na qual foram considerados os fatores geotécnicos e limite de espaço, análise do impacto da proposta e escolha dos dispositivos que apresentam melhor relação custo-benefício e indicam resultados positivos quanto aos critérios ambientais a partir da contribuição de áreas verdes para áreas

impermeabilizadas.

Além disso, a área para implantação desses dispositivos foi definida pela verificação dos pontos críticos, na qual foi identificado que o Estacionamento AutoPark contribui amplamente para o escoamento superficial nas vias e apresenta viabilidade para instauração desses dispositivos para manutenção da drenagem pluvial. A escolha da medida mais adequada para estacionamentos pode ser observada na tabela 10.

Tabela 10 - Medidas para redução de deflúvio superficial direto urbano

Área	Redução de deflúvio direto	Retardamento de deflúvio direto
Estacionamento	Pavimento Permeável	Faixas gramadas no estacionamento
	Reservatório de concreto ou cisterna sob o estacionamento	Canal drenado no estacionamento
	Áreas de armazenamento gramadas em redor do estacionamento	Armazenamento e detenção para áreas impermeáveis
	Valas com cascalho (brita)	

Fonte: Adaptado de Dias e Antunes, 2010 (apud, Figueiredo, 2000)

Dessa forma, foram escolhidos dois dispositivos, conforme a quantidade mínima apresentada na tabela 9 e, a partir da avaliação do local para implantação, foram definidos para pré-dimensionamento, os pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, nos quais o método para cálculo utilizado foi o de Silveira e Goldenfum (2007).

Para efeitos de cálculo, foi necessário converter a equação da curva IDF de Brasília para uma do tipo Talbot, de acordo com a Equação 9.

(Equação 9)

$$i = \frac{a \cdot T^b}{t + c}$$

Onde T é o tempo de retorno, t é o tempo de duração da precipitação e a, b e c, são os parâmetros obtidos através da equação 10.

(Equação 10)

$$a = 0,68 \cdot k \cdot \exp(0,06 \cdot n^{-0,026} d^{1,13})$$

$$b = m$$

$$c = 1,32 \cdot n^{-2,28} \cdot d^{0,89}$$

Fonte: Silveira e Goldenfum (2007)

Sendo assim, considerando que a IDF de Brasília, na equação 3, é descrita pelos coeficientes “*k*”, “*d*”, “*m*” e “*n*” expressados abaixo; os valores de “*a*”, “*b*” e “*c*” são:

<i>k</i>	1.547,7	<i>a</i>	2.716,06
<i>d</i>	0,207	<i>b</i>	0,207
<i>m</i>	11	<i>c</i>	14,77
<i>n</i>	0,884		

Ainda, comparando os valores das duas equações IDF foi necessário reduzir o valor de “*a*” em 0,59488. Dessa forma, a versão final para a equação de Talbot é a seguinte:

(Equação 11 – Equação IDF de Brasília convertida para IDF – Talbot)

$$i = \frac{1.615,73 \cdot T^{0,207}}{t + 14,77}$$

4.5.1 Pré-dimensionamento dos pavimentos permeáveis

Para o pré-dimensionamento dos pavimentos permeáveis, são necessários os seguintes dados: coeficiente de infiltração, área a ser drenada, porosidade efetiva do material de preenchimento, intensidade e duração da chuva e a área da base do sistema de infiltração.

O coeficiente de infiltração, Tabela 11, foi obtido através do Manual da ADASA, no qual fornece valor para o Complexo Ayrton Senna e considerando a proximidade com a área de projeto, utilizou-se o no projeto. Considerou-se também um coeficiente de segurança descrito no Plano Diretor de Drenagem Urbana, segundo Tabela 12, no qual para definição de consequência de falha do dispositivo, considerou-se inconveniência menor e o valor do fator, foi identificado através da respectiva área de contribuição de infiltração do dispositivo, sendo para os pavimentos permeáveis “5” e para as trincheiras de infiltração “3”.

Tabela 11 - Coeficiente de infiltração do Complexo Ayrton Senna

Local	Fonte	Método	k (m/s)
Complexo Ayrton Senna	(NOVACAP, REFORSOLO, 2015)	ABGE Boletim 04/1996	Média de $9,82 \times 10^{-4}$

Fonte: ADASA (2018)

Tabela 12 - Fator de segurança para coeficiente de infiltração

Área drenada m ²	Consequências da falha do dispositivo de infiltração		
	Nenhum dano	Inconveniência menor	Danos à construção ou estrutura
< 100	1,50	2	10
100 a 1000	1,50	3	10
> 1000	1,50	5	10

Fonte: Concremat Engenharia (2009, apud CIRIA, 1996)

Tabela 13 - Porosidade efetiva dos materiais

Material	Porosidade efetiva (%)
Rocha dinamitada – Brita grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduado ($\leq \frac{1}{4}$ polegadas)	30
Areia	25
Cascalho de jazida – Seixo rolado	15 – 25

Fonte: Concremat Engenharia (2009, apud URBONAS & STAHLRE, 1993)

Ainda, conforme tabela 13, escolheu-se o para projeto das trincheiras de infiltração, brita graduada de porosidade 30% e para os pavimentos permeáveis, pavimento poroso de concreto, também de porosidade 30%. A definição dos materiais se mostra bastante significativa para desenvolvimento de projeto e dimensionamento, uma vez que o valor da porosidade do material influencia no resultado final da profundidade dos dispositivos.

Para determinação do volume máximo e altura da base porosa, foram utilizadas as equações 12 e 13:

(Equação 12)

$$Vmáx = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{q_s} \right)^2$$

$$\beta = C \cdot \frac{A_{cont}}{A_{inf}}$$

Fonte: Silveira e Goldenfum (2007)

(Equação 13 – Altura da base porosa do pavimento)

$$H = \frac{Vmáx}{\eta}$$

Fonte: Silveira e Goldenfum (2007)

Onde: "Vmáx" é o volume de preenchimento do material do dispositivo (mm), "T" é o período de retorno (anos), "a, b, c" são os parâmetros da equação intensidade de precipitação de Talbot, "β" é o produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área total contribuinte e a área de infiltração do dispositivo, "qs" é a razão entre o coeficiente de permeabilidade e o coeficiente de segurança (mm/h), "H" é a profundidade média do volume de acumulação do dispositivo (mm) e η é a porosidade do material de preenchimento do dispositivo.

4.5.2 Pré-dimensionamento das trincheiras de infiltração

Para o pré-dimensionamento das trincheiras de infiltração, foram utilizadas as expressões da equação 14.

(Equação 14)

$$k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{\frac{b}{2}}$$

$$\beta = \frac{C \cdot A_{cont}}{B \cdot L}$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{q_s}$$

$$H = \left[\frac{k_1 \cdot (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \cdot k_2^2} \right]^2$$

$$\gamma = \frac{2}{B}$$

Fonte: Silveira e Goldenfum (2007)

Onde: "A" é área contribuinte ao dispositivo (m²), C é coeficiente de escoamento da área de contribuição, "L e B" são as dimensões do dispositivo (m).

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Vazão de projeto

Foram escolhidos para dimensionamento os dispositivos de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração. Dessa forma, a memória de cálculo e os resultados hidrológicos para projeto no estacionamento AutoPark são apresentados na tabela 14.

- Memória de cálculo para dimensionamento hidrológico

$$T_c = \frac{0,0977 \cdot L^{0,6}}{S^{0,3}} = \frac{0,0977 \cdot 0,43^{0,6}}{0,032^{0,3}} = 9,913$$

$$i = \frac{1547,7 \cdot T^{0,207}}{(td + 11)^{0,884}} = \frac{1547,7 \cdot 10^{0,207}}{(9,913 + 11)^{0,884}} = 105,41 \text{ mm/h}$$

$$Q = \frac{C.I.A}{3,6} = \frac{0,9 \cdot 105,41 \cdot 0,0635}{3,6} = 1,673 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = I \cdot Td = 105,41 \cdot \left(\frac{9,913}{60}\right) = 17,146 \text{ mm}$$

Tabela 14 - Tabela resumo para resultados hidrológicos de projeto

Método Racional	
Q (m ³ /s)	1,673
I (mm/h)	105,41
A (km ²)	0,0635
C	0,900
Tretorno (anos)	10
Tduração (min)	9,913
L (km)	0,430
S (m/m)	0,032
Tccarter (min)	9,913
Precip. Total (mm)	17,416
Hf- Hi (m)	13,8

Fonte: Autoria própria (2018)

A partir da obtenção da vazão de projeto em 1,673 m³/s, verifica-se que a mesma ultrapassa cerca de dez vezes o valor da vazão de pré-desenvolvimento determinada pela ADASA de 24,4 L/s.ha, na qual, para uma área de 6,35 ha, seria de 0,155 m³/s.

5.2 Pré-dimensionamento dos pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração

Os valores do pré-dimensionamento para obtenção da espessura da base porosa dos pavimentos permeáveis e profundidade das trincheiras foram obtidos após resultados da conversão da equação IDF de Brasília para Talbot e definição das dimensões das áreas dos dispositivos, conforme tabela 15.

Tabela 15 - Dimensões dos dispositivos

	Pavimento Permeável	Trincheira de Infiltração
B (m)	10,65	1,8
L (m)	367	367
At (m²)	3908,55	660,6

Fonte: Autoria própria (2018)

- Mémória de cálculo para os Pavimentos permeáveis - Tabela 16.

$$\beta = C \cdot \frac{A_{cont}}{A_{inf}} = 0,9 \cdot \frac{63500}{3908,55} = 14,622$$

$$q_s = \frac{(9,82 \cdot 10^{-4}) \cdot (10^3 \cdot 3600)}{5} = 707,04 \text{ mm/h}$$

$$Vmáx = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{q_s} \right)^2$$

$$Vmáx = \left(\sqrt{\frac{1615,73}{60}} \cdot \sqrt{14,622} \cdot 10^{\frac{0,207}{2}} - \sqrt{\frac{14,77}{60}} \cdot \sqrt{707,04} \right)^2 = 143,723 \text{ mm}$$

$$H = \frac{Vmáx}{\eta} = \left(\frac{143,723}{0,3} \right) \cdot \left(\frac{1}{1000} \right) = 0,479 \text{ m}$$

Tabela 16 - Resultados hidráulicos de projeto dos pavimentos permeáveis

Pavimento permeável	
V _{máx} (mm)	143,723
a	1615,73
β	14,622
T(anos)	10
b	0,207
c	14,77
q _s (mm/h)	707,04
Porosidade	0,3
H(m)	0,479

Fonte: Autoria própria (2018)

- Mémória de cálculo para as Trincheiras de Infiltração – Tabela 17

$$\beta = \frac{C. Acont}{B. L} = \frac{0,9 \cdot 63500}{1,8 \cdot 367} = 14,622$$

$$\gamma = \frac{2}{(1,8/1000)} = 0,0011$$

$$q_s = \frac{(9,82 \cdot 10^{-4}) \cdot (10^3 \cdot 3600)}{3} = 1178,4 \text{ mm/h}$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{\frac{b}{2}} = \sqrt{\frac{1615}{60}} \cdot \sqrt{14,622} \cdot 10^{\frac{0,207}{2}} = 25,183$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{q_s} = \sqrt{\frac{14,77}{60}} \cdot \sqrt{0,0011} \cdot \sqrt{1178,4} = 0,568$$

$$H = \left[\frac{k_1 \cdot (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \cdot k_2^2} \right]^2 = \left\{ \left[\frac{25,183 \cdot (0,568 - \sqrt{0,3})}{0,3 \cdot 0,568^2} \right]^2 \right\} \cdot \left(\frac{1}{1000} \right) = 0,51 \text{ m}$$

Tabela 17 - Resultados hidráulicos de projeto das trincheiras de infiltração

Trincheira de Infiltração	
β	86,512
γ	0,0011
k1	25,183
k2	0,568
qs(mm/h)	1178,4
H(m)	0,510

Fonte: Autoria própria (2018)

5.3 Resultado final

Após pré-dimensionamento dos dispositivos, foi calculada a capacidade volumétrica de cada um, e conforme tabela 18, os pavimentos permeáveis apresentaram volume de 5.617,49 m³ e as trincheiras de infiltração, 673,33 m³.

Tabela 18 - Dimensões totais dos dispositivos

	Pavimento Permeável	Trincheira de Infiltração
Quantidade	3	2
B (m)	10,65	1,8
L (m)	367	367
H (m)	0,479	0,510
At (m²)	3908,55	660,6
V(m³)	5617,49	673,33

Fonte: Autoria própria (2018)

Considerando a intensidade de precipitação de projeto de 105,41 mm/h e tempo de concentração de 9,91 min, e área total de contribuição de 63.500 m² tem-se que o volume total de escoamento é de 1105,90 m³.

Dessa forma, como o volume obtido com o pré-dimensionamento dos pavimentos permeáveis, com material de concreto permeável, se mostrou bastante superior ao volume de projeto, foi decidido desconsiderar a implantação desse dispositivo para não gerar mais custos e optar apenas pela implantação das trincheiras de infiltração, nas quais diminuíram o escoamento em quase 61%, conforme tabela 19.

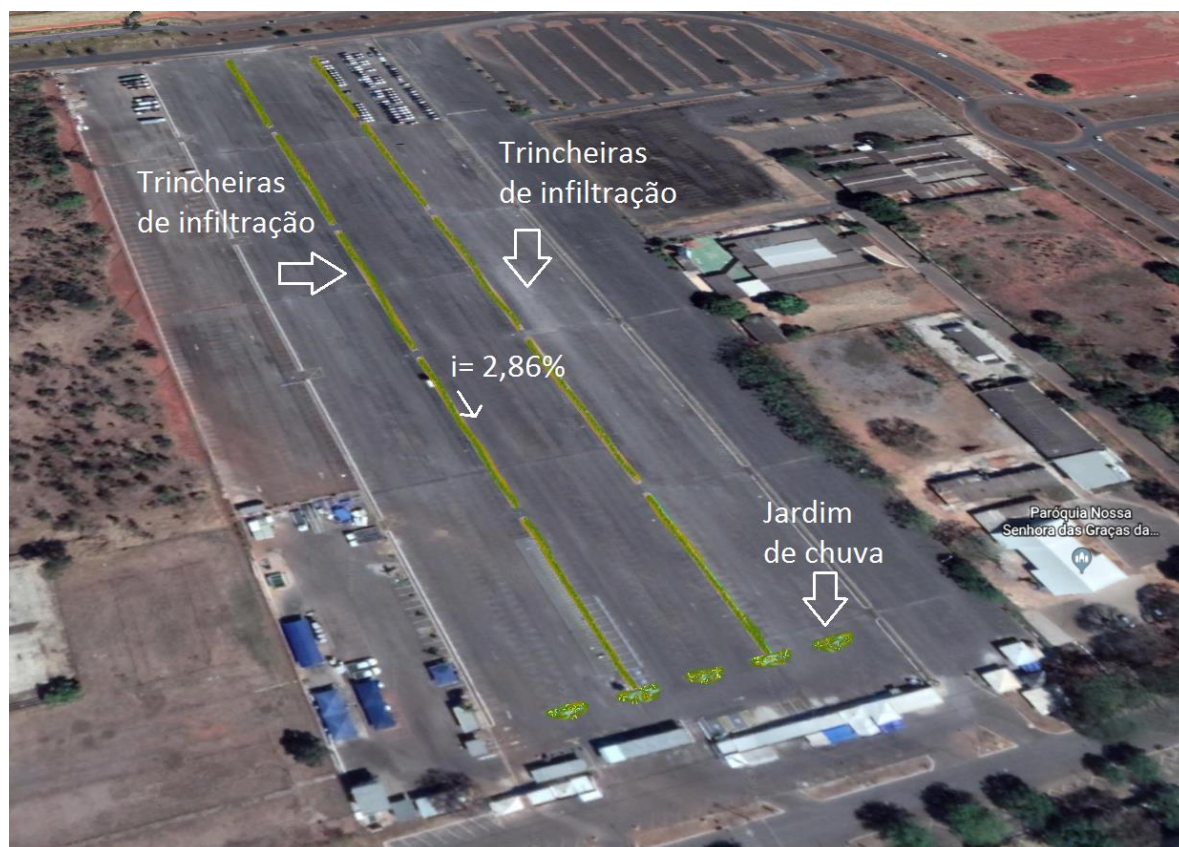
Tabela 19 - Redução de escoamento superficial

Volume antes (m ³)	1105,903
Volume após (m ³)	432,578
Redução de escoamento (%)	60,885

Fonte: Autoria própria (2018)

A sugestão da locação das trincheiras seria no espaço linear entre as vagas, onde apresenta atualmente uma calçada e também há inclinação entre o asfalto, permitindo que a água seja escoada na direção das trincheiras. São sugeridos também tubos de drenagem no interior das trincheiras, para possibilidade do dispositivo não infiltrar totalmente o escoamento gerado por precipitações mais intensas, e também pequenos jardins de chuva interligados entre si com posterior ligação à rede de drenagem convencional. Os jardins de chuva teriam, aproximadamente, área de 32 m² e profundidade de 0,5m cada, com capacidade volumétrica total de 80 m³, destacados na Figura 38.

Figura 38 - Ilustração de projeto na planta



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

6. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS

Este trabalho busca apresentar métodos que auxiliem na resolução dos inconvenientes causados pelas chuvas em pequenos ambientes urbanos, utilizando uma área universitária como estudo e execução de projeto que pudesse diminuir, de forma sustentável, o escoamento superficial.

A partir do estudo de caso, foi observado que as áreas pertencentes a estacionamentos que não possuem medidas de controle são as que mais favorecem o aumento do volume e velocidade de escoamento, desvalorizando os espaços e conferindo incômodos e até mesmo danos às pessoas e aos veículos que transitam por essas áreas.

Portanto, através do projeto de drenagem urbana para o estacionamento AutoPark, externo ao campus do UniCeub na Asa Norte, a partir da instauração de Trincheiras de Infiltração, pode-se verificar uma significativa redução no escoamento em quase 61% do seu valor total.

Apesar do resultado satisfatório recorrente do pré-dimensionamento da trincheira de infiltração, é importante ressaltar que alguns fatores importantes para execução de projeto, não foram realizados neste trabalho, tais como ensaios laboratoriais para obtenção de dados geotécnicos de permeabilidade (carga constante e variável), adensamento e cisalhamento direto para definição da granulometria, taxa de infiltração e demais características do solo.

Também é necessária a realização de ensaios para investigação do subsolo, para definição de espessura e dimensão de cada camada do solo até a profundidade desejada, existência de água com a posição do nível de água encontrado durante a investigação do solo e possível existência de camada rochosa ou material impenetrável. Os estudos de colapsividade também são indispensáveis, desde que Brasília apresenta locais com ocorrência de fenômenos com risco de *piping*, entre outros.

Os critérios de avaliação econômica, como análise de custo para implantação, também não foram realizados, e embora os dispositivos de controle de drenagem na fonte indiquem bons resultados quanto à relação custo-benefício, eles se tornam indispensáveis para instauração do empreendimento.

Sendo assim, é proposto o estudo geotécnico e critérios econômicos para fornecer dados que viabilizem efetivamente o projeto, além de estudos de impactos permanentes e temporários causados pelo projeto.

Por fim, este trabalho apresenta também, através de pesquisas em literaturas, alternativas além das trincheiras de infiltração, que são bons elementos para o controle de vazões, como a implantação de elementos paisagísticos que funcionem como infra-estrutura verde, a fim de evitar a impermeabilização demasiada da superfície do solo com concreto ou asfalto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E., & GOLDENFUM, J. A. (2000). Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5, 21-29. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/avaliacao-da-eficiencia-dos-pavimentos-na-reducao-de-escoamento-superficial.pdf>.

BRANDÃO, A. Brasília Resiliente. Texto para discussão. Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2016. N. 21. ISSN 2446-7502.

BOTELHO, M. H. C. Águas de chuva: engenharia de águas pluviais nas cidades [livro eletrônico]. 4ª Edição. São Paulo: Bluncher, 2018.

CORMIER, N. S., & PELLEGRINO, P. R. (2008). Infra-estrutura verde: Uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem Ambiente: ensaios n. 5*, 125-142. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/105962/111750>.

DIAS, F. S., ANTUNES, P. T. S. C. Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

DRAPER, J. B. Urban design and stormwater management: na integrated approach to public hardscape design. Thesis: Graduate School of Clemson University. South Carolina, 2011. Disponível em: https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2084&context=all_theses.

FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B. Considerações Sobre a Aplicação do Telhado Verde Para Captação de Água de Chuva em Sistemas de Aproveitamento Para Fins Não Potáveis. In: ENCONTRO NACIONAL, 4.; ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., São Paulo, 2007.

FERREIRA, A. F. M. S. P. Avaliação e Proposta de um Sistema de Drenagem Pluvial da Superquadra 411/12: Um Estudo de Caso. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, 2015.

FREITAS, J. (2014). De pavimento a parque: uma proposta de corredores verdes para Santos. *LABVERDE n° 9*. Artigo 03.

GRACIOSA, M. C. P. Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana: modelagem experimental e numérica. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

GONÇALVES, L. S. Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos

Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/49152/000829742.pdf?sequence=1>.

GRIBBIN, J. E. Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais. 4ª Edição. Tradutora Andrea Pisan. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

HOUGHTALEN, R.; HWANG, N.; AKAN, A. Engenharia Hidráulica. 4ª Edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

LOPES, V. C. V. Comportamento térmico do Distrito Federal em situação sazonal de inverno em 2011. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Humanas. Brasília, 2011. Disponível em: http://bdm.unb.br/bitstream/10483/5242/1/2011_VanessaCristinaVasconcelosLopes.pdf.

MA, Y. Hydrologic analysis of rain garden performance. Dissertation (Doctor of Philosophy) - University of Missouri-Kansas City. Kansas City, 2016.

MATOS, J. S. (2003) Aspectos Históricos a Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. Número 16. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num16/Pag%2013-23.pdf>.

MELO, T. A. T. Jardins de Chuva: Sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas. Recife, 2011.

MELO, T. A., COUTINHO, A. P., SANTOS, J. B., CABRAL, J. J., ANTONINO, A. C., & LASSABATERE, L. (jul/set de 2016). Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, 16, 53-72.

NETTO, A.; FERNÁNDEZ, M. Manual de Hidráulica. 9ª Edição. São Paulo: Blucher, 2018.

OLIVEIRA, D. B. Hidrologia. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

POLETO, C., & PEITER, T. V. (2012). Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. *Revista de Estudos Ambientais (Online)*, 14, 57-67.

POMPÊO, C. A. (jan/mar de 2000). Drenagem Urbana Sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5, 15-24.

RIGHETTO, A. M. Manejo de águas pluviais urbanas. Rio de Janeiro: ABES, 2009. il Projeto PROSAB. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf

SILVEIRA, A. L. (jan/mar de 2005). Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10, 5-23.

SILVEIRA, A. L. L., GOLDENFUM, J. A. (abr/jun, 2007). Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12, n 2, 157-168.

TASSI, R., PICCILLI, D. G., BRANCHER, S. C., & ROMAN, C. A. (jul/set de 2016). Preferências da população de diferentes estratos sociais no manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, 16, 39-52. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v16n3/1678-8621-ac-16-03-0039.pdf>

TUCCI, C. E. (2008). Áreas Urbanas. *Estud. av*, 22 nº 63, 97-112. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200007&lng=en&nrm=isso

TUCCI, C. E. M. (oct/dec de 2003) Drenagem Urbana. *Cienc. Cult*, 55 nº4. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252003000400020&script=sci_arttext&lng=pt

TUCCI, C. E . M. (2012) Gestão da drenagem urbana. Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38004/LCBRSR274_pt.pdf?sequ

ZEVENBERGEN, C.; FU, D.; PATHIRANA, A. (2018) Sponge Cities: Emerging Approaches, Challenges and Opportunities. Printed Edition of the Special Issue. *Water*. Disponível em: <https://www.mdpi.com/books/pdfview/book/815>.

Distrito Federal. Secretaria de Estado de Obras, *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal*. Brasília: Concremat Engenharia, V. 2 Manual Técnico 2 e 3– Manual Técnico de Drenagem Urbana. Brasília, 2009.

Distrito Federal. *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal*. Adasa. Brasília, 2018. Disponível em: http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/drenagem_urbana/Manual_Drenagem/Manual_Drenagem.pdf

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem*. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2005.